INAF
Istituto Nazionale di Astrofisica
OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI PALERMO
Giuseppe S. Vaiana

Piazza del Parlamento 1 (Palazzo dei Normanni)
I–90134 Palermo (Italy)
Tel: +39 – 091 233111 Fax: +39 – 091 233444

RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Rapporto 2008

INAF
Istituto Nazionale di Astrofisica
OSSERVATORIO ASTRONOMICO DI PALERMO
Giuseppe S. Vaiana

Piazza del Parlamento 1 (Palazzo dei Normanni)
I–90134 Palermo (Italy)
Tel: +39 – 091 233111 Fax: +39 – 091 233444

RICERCA SCIENTIFICA E TECNOLOGICA

Rapporto 2008

Palermo, 16 ottobre 2009

In copertina: Mappa della temperatura del gas caldo in una regione attiva della corona solare, ottenuta tramite osservazioni con lo strumento *X-Ray Telescope* a bordo del satellite Hinode (Reale et al. 2007).

Indice

Introduzione

L'Osservatorio Astronomico di Palermo (OAPA) è una delle strutture di ricerca dell'Istituto Nazionale di Astrofisica (INAF) ed opera in collegamento con l'Università di Palermo attraverso la sezione di Astronomia del Dipartimento di Science Fisiche ed Astronomiche (Dip.S.F.A.).

Una convenzione tra Osservatorio ed Università di Palermo consente all'OAPA di usufruire dei locali della sede storica situata nel Palazzo dei Normanni, e garantisce una razionale utilizzazione delle risorse e del personale dei due Enti. Oltre che nella sede centrale, l'OAPA svolge attività di ricerca anche presso locali distaccati (in affitto dalla metà del 2005) dove risiedono il laboratorio *X-ray Astronomy Calibration and Testing (XACT) Facility*, il Sistema di Calcolo per l'Astrofisica Numerica (*SCAN*), e la costituenda *Light Irradiation Facility for Exobiology, LIFE*. Inoltre, essi ospitano un laboratorio di criogenia con annessa camera pulita, e un parco di macchine di officina. Questi locali distaccati si trovano nell'area del plesso universiario di via Archirafi, e sono stati affittati nell'ambito del programma per la realizzazione di una sede INAF a Palermo[1].

L'Osservatorio Astronomico di Palermo si caratterizza per la sua specifica vocazione nel campo dell'Astrofisica Spaziale che costituisce la linea portante delle ricerche ed attività in corso. Essa ha portato alla realizzazione della *facility* XACT per l'Astronomia nei raggi X, e al raggiungimento di una competenza riconosciuta internazionalmente nel campo dell'astrofisica solare e stellare, con specifica enfasi nel campo dell'emissione nei raggi X. Il già forte interesse nel calcolo ad alte prestazioni, che ha origini lontane e per il quale sin dal 1999 sono stati ottenuti specifici finanziamenti da parte del MIUR, si è consolidato nel corso degli ultimi anni, sia tramite un recente finanziamento da parte della Regione Sicilia, che attraverso la partecipazione al progetto PI2S2 finanziato dal PON-MIUR per un triennio (a partire dal 1.1.2006) al consorzio siciliano COMETA, di cui INAF è membro ed opera attraverso le sue tre strutture di ricerca in Sicilia.

L'alto livello di qualificazione raggiunto è testimoniato dal fatto che
i) nel condurre le proprie attività i ricercatori dell'Osservatorio di Palermo, nel corso del passato quinquennio, hanno attirato, attraverso risposte a bandi competitivi, risorse finanziarie da parte dell'ASI, della Regione Sicilia, dei programmi nazionali di co-finanziamento del MIUR (3 chiusi nel 2006), dei programmi MIUR di Alta Formazione e Ricerca (1 chiuso nel 2007), dei programmi MIUR-PON (2 chiusi nel corso del 2006), dei programmi finanziati dalla UE (2 attivi, 1 chiuso nel corso del 2008) e dei programmi nazionali di INAF (2 al momento attivi); nel complesso questi finanziamenti hanno significativamente superato la somma delle risorse FFO e Ricerca di Base;
ii) ricercatori dell'Osservatorio sono responsabili nazionali di programmi dell'INAF e hanno un ruolo non marginale nella preparazione di documenti programmatici di rilievo per l'INAF e nella gestione di programmi nazionali di AstroFisica Spaziale;
iii) ricercatori dall'Osservatorio sono coinvolti in comitati e programmi internazionali (ESO, ESA, NASA) e in una estesa rete di collaborazioni con qualificati centri di ricerca in Italia e all'estero.

Gli assi portanti dell'attività di ricerca scientifica dell'Osservatorio vertono intorno a studi della Fisica dell'atmosfera del Sole e delle stelle di tipo solare, della formazione ed evoluzione delle stelle lungo la loro traccia evolutiva, dei sistemi stellari e planetari giovani e delle loro popolazioni nella Galassia. A queste linee di ricerca, che utilizzano osservazioni sia nei raggi X che ottiche e infrarosse, si aggiungono studi multi-banda di resti di supernove e loro interazione con l'ambiente circostante, e un'attività di recente sviluppo nel campo dell'Astrobiologia sperimentale che – capitalizzando sul know-how scientifico e tecnologico delle altre linee di ricerca attive da maggior tempo – mira a studiare gli effetti della radiazione X (stellare) sui composti all'origine della vita. Il complesso di queste ricerche costituisce l'elemento

[1]Come deliberato dall'allora CDA dell'INAF

di propulsione dell'attività dell'Osservatorio e, allo stesso tempo, l'elemento trainante delle attività a più spiccata connotazione tecnologica e/o di studio di future missioni spaziali (vedi Sez. 5 e 6).

Ulteriori attività in corso hanno un forte contenuto di **tecnologia informatica** e alcune di queste includono la realizzazione o il potenziamento di grandi infrastrutture per il calcolo numerico massiccio; in quest'ambito va segnalata la partecipazione di OAPA alle attività del progetto PON PI2S2 finanziato dal consorzio COMETA (vedi Sez. 8.2). Tale attivitá ha capitalizzato sulla pregressa esperienza nel campo, e nel corso del triennio 2006-2008 ha permesso di far crescere un capitale umano altamente qualificato. È di rilievo che alcune linee strategiche nello sviluppo del progetto PI2S2 fortemente spinte dai ricercatori e/o associati INAF operanti in Sicilia, e specificatamente il supporto ai codici utilizzanti MPI all'interno della GRID, siano state recentemente identificate come linee di sviluppo prioritario dallo EGEE (Enabling GRID for E-sciencE) board. EGEE é un progetto finanziato dalla EU per lo sviluppo della tecnologia GRID e per la realizzazione di una infrastruttura GRID disponibile con continuità ai ricercatori europei.

Utilizzando in modo mirato parte delle risorse della ricerca di base è stato avviato un **programma di astrobiologia sperimentale** che é stato finanziato nel 2007 a valere sui fondi del bando PRIN-INAF 2006. Il programma di astrobiologia sperimentale prevede la realizzazione di un apparato sperimentale per la sintesi di materiale prebiotico in condizioni di ambiente proto-planetario. La sintesi di materiale prebiotico, in particolare di amino acidi, verrà indagata per irraggiamento di analoghi di ghiacci interstellari con radiazione X ed UV tipiche da ambiente planetario giovane. La realizzazione del necessario apparato sperimentale é continuata nel corso del 2008 utilizzando (modeste) risorse a valere sui fondi della ricerca di base e ottenute dalla Regione Sicilia (vedi Sez. 3).

Per quanto riguarda infine l'attività di ricerca direttamente legata all'**analisi e interpretazione di osservazioni in raggi X e nell'ottico**, va ricordato:

- la collaborazione con ricercatori della High-Energy Astrophysics Division presso il Center for Astrophysics (CfA) di Cambridge (MA, USA), lo Space Research Institute di Utrecht, l'X-ray group presso la Penn State University, la RSSD di ESA-ESTEC, il Paul Scherren Institut di Zurigo, l'Observatoire de Grenoble, l'Hamburger Sternwarte, lo Spitzer Center a IPAC-Caltech, etc. Va rimarcato come ricercatori dell'Osservatorio siano stati e siano presenti in svariati Key/Large projects internazionali di Astronomia X finora approvati nel campo della formazione e prime fasi evolutive delle stelle. Limitandoci a quelli correntemente attivi ricordiamo:

    1. il "Deep Rho Ophiuchi X-ray Observation" (DROXO, 500 ksec), per osservazioni congiunte ottiche (ESO) e in raggi X (XMM-Newton) di una regione di formazione stellare nell'intorno di ρ Oph; a questo progetto, guidato da S. Sciortino, partecipa un numeroso gruppo di ricercatori europei, con una cospicua presenza di ricercatori INAF;
    2. il joint Chandra/Spitzer Deep Survey di NGC 1893 (450 ksec, PI: G. Micela) che mira a ricavare la IMF di un ammasso giovane formatosi nelle regioni esterne della Galassia in modo da verificare l'effetto delle condizioni "ambientali" sulla formazione stellare e la risultante IMF;
    3. lo Orion-A XMM-Newton survey approvato nel Dicembre 2006 (350 ksec, PI: S. Wolk) che utilizzando congiuntamente dati X e di Spitzer mira ad identificare e studiare un campione completo di stelle giovani in Orion A e ricavare vincoli sulla storia ed i meccanismi di formazione stellare;
    4. l'osservazione con XMM-Newton (360 ksec, PI: T. Montmerle) della stella T Tauri classica V4046 Sgr, il cui obiettivo è studiare l'accrescimento magnetosferico, misurando lo spettro X prodotto dal materiale riscaldato nello shock da accrescimento;
    5. il survey della regione di Cygnus OB-2 recentemente approvato per 1 Msec dal TAC di Chandra ad una collaborazione internazionale guidata da J. Drake con una forte partecipazione da parte di OAPA.

- Va inoltre ricordata la partecipazione a Key/Large projects mirati allo studio di SNR:
  1. il progetto “Energy partition in SN1006: thermal gas, relativistic particles and magnetic fields”, approvato come Large Project della missione per l’astronomia X XMM-Newton, per lo studio dei fenomeni di accelerazione dei raggi cosmici nei resti di supernova, guidato da A. Decourchelle (Saclay, Francia);
  2. il progetto “Crushing of a Pulsar Wind Nebula (PWN)”, anch’esso approvato come Large Project della missione per l’astronomia X XMM-Newton, per lo studio delle interazioni fra PWN e shell circostanti, con particolare riferimento alla connessione fra emissione gamma e X; il progetto è guidato da P. Slane (Cfa, USA).
- i programmi di spettroscopia ottica ad alta risoluzione di regioni di formazione stellare e ammassi aperti, cui collaborano ricercatori di ESO, dell’Istituto di Astrofisica delle Canarie, del Centro Galileo Galilei, del Center for Astrophysics, dell’Università del Maryland, dell’Osservatorio Astrofisico di Arcetri, dell’Osservatorio Astronomico di Bologna, dell’Osservatorio Astronomico di Padova e dell’Osservatorio Astronomico di Trieste.
- il programma quadriennale 2006-2009 per 2 borse di studio Marie Curie, PHOENIX, per il quale la prima borsista (Dr. Tatiana Yelenina) ha iniziato la sua attività nel marzo 2007 e la seconda borsista, Rachel Curran, é stata selezionata alla fine del 2007.
- La partecipazione alla RTN “Constellation” della UE che vede la partecipazione di ricercatori dell’Osservatorio di Palermo e dell’Osservatorio di Arcetri (Resp. Scientifico G. Micela) e le cui attività quadrennali sono iniziate nel Dicembre 2006 e nel cui ambito Ella Hopewell nell’ottobre 2007 ha iniziato ad usufruire di una borsa biennale.

In relazione ai programmi di GO nel campo dell’astrofisica delle alte energie, ed in particolare ai Key/Large programs, va sottolineato il forte allarme che deriva dal persistente blocco negli attesi finanziamenti da parte di ASI per i programmi di GO. Si tratta di finanziamenti essenziali per questo tipo di attività e per i quali si è accumulato un ritardo di oltre un anno sull’attivazione del relativo contratto da parte di ASI.

Il personale afferente all’OAPA (vedi Sez. 14.1) è composto da 1 Astronomo Ordinario[2], 3 Astronomi Associati e 8 Ricercatori Astronomi. Inoltre, nel 2008 ne hanno fatto parte anche tre ricercatori a tempo determinato, tramite borse di studio biennali Marie Curie (UE), e all’attività di ricerca scientifica della struttura hanno partecipano 6 assegnisti, di cui 5 su fondi di ricerca dell’Osservatorio, e 5 dottorandi di cui 3 con borsa di studio coperta da fondi di ricerca dell’Osservatorio.

Alla sezione di Astronomia del Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche afferiscono un professore ordinario, due professori associati e due ricercatori (vedi elenco nella Sez. 14.2). Alcuni ricercatori dell’Osservatorio hanno preso parte alla attività didattica di alcuni corsi universitari ed hanno svolto la funzione di supervisore di tirocinii per allievi del Corso di Laurea in Fisica (vedi Sez. 12).

I docenti della sezione di Astronomia del Dipartimento, insieme al personale dell’Osservatorio Astronomico, partecipano alle attività del Dottorato di Ricerca in Fisica. In particolare nel 2005 è stata attivata, a seguito di stipula, a cura del Direttore dell’Osservatorio, di formale convenzione con l’Università di Palermo, una borsa di dottorato finanziata dall’INAF per il XX ciclo di Dottorato di ricerca in Fisica, indirizzo AstroFisico, presso il Dip.S.F.A. Per effetto di tale convenzione la Dott.ssa G. Micela è stata nominata dal Direttore dell’Osservatorio come membro nel Collegio dei Docenti. Le note ristrettezze di bilancio dell’INAF hanno precluso l’ulteriore attivazione di borse di studio finanziate da INAF a partire dal 2006 e quindi la partecipazione della Dott. Micela si concluderà alla fine del 2008.

[2] Il prof. R. Pallavicini, l’altro Astronomo Ordinario in servizio presso OAPA, anche se trasferito a Roma come Direttore del Dip. Strutture, è prematuramente deceduto il 10/1/2009

L’OAPA conta sul supporto di 3 unità di personale tecnico/scientifico, 3 unità per la gestione del sistema di calcolo, 6 unità (inclusa una con un contratto a TD) per servizi di amministrazione, 2 unità per la gestione della biblioteca, 1 unità per attività museali e divulgative e 4 unità per altri servizi generali e tecnici. Infine, per tutto il 2008, ha prestato servizio presso l’OAPA 1 unità di Personale per Lavori di Pubblica Utilità (L.P.U., tramite convenzione con la Provincia di Palermo) che ha fornito ausilio per l’apertura al pubblico del Museo della Specola e per altre attività culturali, divulgative e di supporto. Altre unità di personale hanno collaborato in modo più episodico al programma di diffusione della cultura scientifica sulla base di specifici finanziamenti del MIUR e di altre realtà locali.

Questo documento descrive le attività di ricerca e lo sviluppo delle strutture dell’OAPA durante il 2008, ed è suddiviso nelle seguenti parti: I) Astrofisica osservativa, II) Ricerca e sviluppo tecnologico e studi di missioni spaziali, III) Calcolo Numerico Massiccio ed elaborazione dati, IV) Altre attività: Storia dell’astronomia, Biblioteca antica e archivio storico, Divulgazione e Didattica, Alta formazione e rapporti con l’Università, Seminari, convegni e visitatori. La parte V è dedicata alla bibliografia, e la parte VI al personale e al suo ruolo nel contesto nazionale ed internazionale. Considerata la stretta osmosi fra le attività di tutto il personale coinvolto, indipendentemente dalla sua afferenza o meno all’Osservatorio Astronomico di Palermo, tutte le attività vengono presentate in un unico documento, ritenendo che questo sia in accordo con le linee guida dell’INAF, anche in considerazione del fatto che il personale scientifico universitario, la cui attività è illustrata in questo documento, sin dal 2002 ha avuto attribuito un incarico di ricerca gratuito nell’ambito dei programmi svolti in collaborazione con il personale dell’Osservatorio, contratto che è stato rinnovato per un ulteriore triennio nel corso del 2008.

Parte I
Astrofisica osservativa

1 Fisica Solare

1.1 Fisica della corona confinata

In questo campo l'interesse si è incentrato sulla comprensione della morfologia, delle condizioni fisiche e della dinamica delle strutture coronali sia in condizioni stazionarie (cioè gli archi coronali in quiete e le regioni attive) sia nel corso di eventi transitori come i brillamenti e i Coronal Mass Ejections. L'approccio adottato comprende l'interpretazione fisica delle strutture e dei fenomeni coronali tramite modelli, l'analisi di osservazioni coronali X e UV da satellite, e il confronto dettagliato dei modelli con le osservazioni.

La maggior parte dell'emissione in raggi X della corona solare proviene da archi coronali in cui plasma caldo a milioni di gradi è confinato dal campo magnetico solare. In tali condizioni, *le caratteristiche e i tempi scala dell'emissione in raggi X sono in gran parte determinate dalla fluidodinamica del plasma: per tale motivo modelli puramente fluidodinamici di plasma si sono rivelati preziosi strumenti teorici e di diagnostica e hanno fornito vincoli cruciali per comprendere i meccanismi fisici in gioco*.

Le ricerche riguardanti la fisica della corona confinata sono state stimolate negli ultimi anni dalla acquisizione di dati di sempre maggiore qualità da diversi satelliti, in particolare da Yohkoh, che ha monitorato la corona e i brillamenti solari in continuazione nel corso di un intero ciclo solare (1991-2001), dal SOlar and Heliospheric Observatory (SOHO), che dal 1995 fornisce una messe di informazioni soprattutto di carattere spettroscopico sulla corona interna ed esterna, e dal Transition Region And Coronal Explorer (TRACE), lanciato nel 1998, che permette di studiare la struttura fine della corona e di evidenziarne la forte filamentazione grazie alla sua elevata risoluzione spaziale ($1''$).

Nel corso del 2006 è stato lanciato il satellite solare Hinode (c.f. Fig. 1), frutto di una collaborazione Giappone/USA/Europa. La missione Hinode è basata su strumenti innovativi dedicati alla fisica solare e coronale. Alcuni dei problemi di elezione vertono sul ruolo degli eventi impulsivi e delle onde nel riscaldamento della corona, nonché sull'origine delle eruzioni solari, dei brillamenti e dei Coronal Mass Ejections. Il satellite contiene tre strumenti principali, due telescopi ad alta risoluzione nelle bande ottica e X, rispettivamente, ed uno spettrometro EUV a immagine. XRT è un telescopio a incidenza radente con una risoluzione angolare di circa 1 arcsec e dotato di nove diversi filtri montati su due ruote coassiali, che permettono una diagnostica termica innovativa del plasma coronale. Hinode e XRT rappresentano un forte elemento di innovazione di linee di ricerca consolidate della fisica solare nella banda X, una tematica in cui il gruppo di Palermo ha una lunga tradizione, più che trentennale, ed ha sempre avuto un ruolo di primo piano a livello internazionale. La missione nasce da una collaborazione USA, Giappone e Regno Unito. Da parte italiana, INAF/Osservatorio Astronomico di Palermo ha contribuito con la calibrazione a terra dei filtri del telescopio X (Golub, et al., 2007, Sol.Phys, 243, 63) e G. Peres è *co-Investigator* dello strumento.

Si perseguono linee di ricerca che fanno e faranno continuo riferimento ai dati di queste missioni, utilizzandoli estesamente, sia attraverso studi più prettamente incentrati sull'analisi dei dati, sia attraverso studi che invece legano tale analisi a modelli dettagliati delle strutture e dei fenomeni osservati e alla sintesi dai modelli di quantità osservabili da confrontare con i dati.

Tale approccio è stato estensivamente applicato ad esempio allo studio dei brillamenti coronali, una linea di ricerca "storica" nel gruppo dell'OAPA e della sezione di Astronomia del Dip.SFA/Palermo. I brillamenti consistono in rapidi aumenti di luminosità di zone limitate della corona solare, seguiti da una più lenta e graduale diminuzione. I brillamenti possono raggiungere luminosità uguali o maggiori dell'intera corona e temperature di decine di milioni di gradi (MK). Sono osservati con curve di luce simili sia

Figura 1: Il satellite Hinode con a bordo lo strumento X-Ray Telescope (XRT) alla cui calibrazione ha collaborato il gruppo di INAF/Osservatorio Astronomico di Palermo.

sul Sole, dove sono anche risolti spazialmente, sia sulle altre stelle. Su questa base si sono effettuati studi comparativi e si sono utilizzati i brillamenti solari come prototipi per interpretare e ottenere informazioni sui brillamenti stellari e sulle regioni in cui avvengono (si veda la Sez. 2.5.1).

Studi recenti su questo argomento si basano su dati rilevati dai satelliti SOHO e TRACE, e ultimamente dal satellite Hinode. Nel corso del 2008 si sono proseguiti studi sotto l'impulso di un gruppo di studio finanziato da ESA presso ISSI di Berna con tematica riguardante il riscaldamento della corona tramite nanobrillamenti. Da un lato si sono effettuati studi basati su modelli sulla rivelabilità di plasma caldo a temperature dell'ordine di 10 MK che ci si aspetta in presenza di nanobrillamenti. Si è così posto in evidenza che tale plasma caldo potrebbe essere più difficile da rivelare perché potrebbe non raggiungere l'equilibrio di ionizzazione che compete allo stato di plasma caldo prima della fine dell'impulso di calore (Reale & Orlando, 2008, ApJ, 684, 715). D'altro canto si è avviata una linea di ricerca sull'analisi dei dati dello strumento X-Ray Telescope (XRT) a bordo del satellite Hinode. La tematica è la diagnostica termica del plasma basata sul rapporto di mappe di emissione in filtri a larga banda. È noto che tale rapporto fornisce una misura di temperatura (mediata sulla banda dei filtri) e quindi è possibile ricavare vere e proprie mappe termiche di intere regioni della corona solare. Una particolare combinazione dei filtri ha fornito una mappa termica di una regione attiva ricca di dettagli (Fig. 2), mostrando grandi potenzialità di diagnostica dello strumento XRT (Reale et al., 2007, Science, 318, 1582). Tali studi sono proseguiti con la ricerca della presenza di plasma ad alta temperatura, intorno a 10 MK, che indicherebbe la presenza di rilasci impulsivi di energia, i nanobrillamenti appunto. Evidenza di plasma caldo è stata rivelata attraverso rapporti tra filtri duri e sembrerebbe essere estesa su intere regioni attive e diffusa, cioè non direttamente assegnabile a singoli archi coronali (Reale et al. 2009, ApJ, 698, 756). In attesa di ulteriore conferme, questo andrebbe a favore di un riscaldamento dell'intera corona fortemente strutturato a nanoflare, in archi visti come matasse di filamenti sottilissimi.

1.2 Coronal Mass Ejections

Lo studio dei Coronal Mass Ejections (CMEs, ovvero espulsioni coronali di massa) è un'altra linea di ricerca nell'ambito della fisica solare. I CME sono fenomeni che hanno origine dalla esplosione di strutture magneticamente confinate il cui effetto è di espellere plasma, a velocità anche di diverse migliaia di km/sec, nell'atmosfera solare e verso lo spazio interplanetario. Si pensa che essi abbiano un ruolo importante
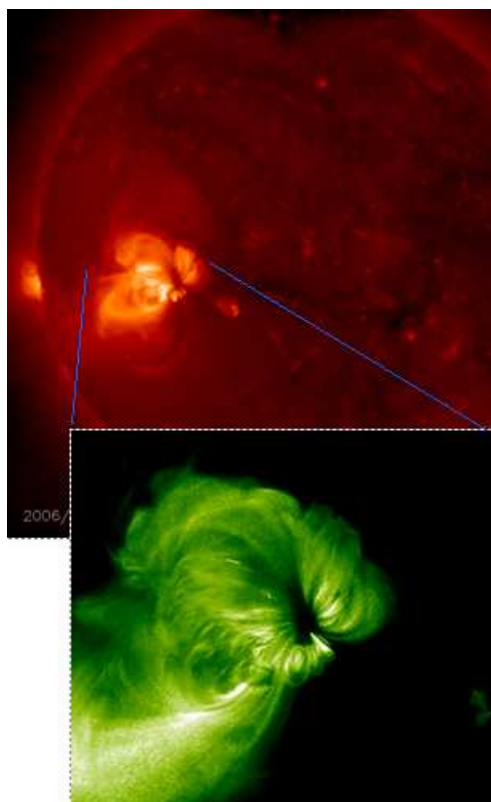
Figura 2: Mappa termica (in verde) di una regione attiva ottenuta da un particolare rapporto di filtri dello strumento Hinode/XRT (Reale et al. 2007). Si noti l'alta definizione e ricchezza di dettagli.

nella riconfigurazione del campo magnetico solare. Le tempeste geomagnetiche, la distruzione di satelliti dovuta ad interazione con particelle molto energetiche nonché i problemi al sistema delle comunicazioni molto frequenti durante il massimo del ciclo solare sono in gran parte causati da CMEs. L'interesse per i CMEs va oltre l'ambito astrofisico e mira anche alla possibilità di prevederne il verificarsi per limitarne eventualmente gli effetti sulla Terra. I fenomeni solari sono inoltre un importante termine di confronto per lo studio di fenomeni esplosivi in altri ambiti astrofisici ed in particolare su stelle con atmosfere simili a quella solare ma con livelli di attività X anche estremamente più elevati.

1.2.1 Osservazioni

Il lancio del satellite "Solar and Heliospheric Observatory" ha segnato una svolta nello studio dei CMEs. Infatti, osservazioni in diverse bande dello spettro elettromagnetico sono ora disponibili insieme alle tradizionali immagini dei coronografi a luce visibile. In particolare con lo spettrometro UVCS per la prima volta sono stati ottenuti spettri UV di CME nella corona solare. Questo gruppo in collaborazione con il gruppo UVCS del Center for Astrophysics (Cambridge, USA), in particolare con il Dr J. Raymond e il Dr A. van Ballegooijen, è impegnato nell'analisi degli spettri UVCS di CMEs. Diversi sono gli aspetti che si prestano ad essere studiati utilizzando gli spettri UltraVioletti e di seguito riassumeremo alcuni degli studi effettuati includendo quelli più recenti.

Tra gli studi di CMEs già completati citiamo quello di halo CME osservati con UVCS nel periodo 1997-2002. Gli halo CMEs, che spesso hanno importanti ripercussioni sulla Terra, hanno origine da eruzioni di strutture sulla parte visibile del disco solare la cui estensione angolare, nelle immagini a luce

visibile, è 360°. Lo studio di questo tipo di CMEs è cruciale per confronti con le osservazioni in situ di particelle molto energetiche, eventi di shock, campi nel vento solare e sono molto ben correlati con l'attività geomagnetica. Più recentemente particolare attenzione è stata rivolta alle caratteristiche spettroscopiche dei Current Sheets (CS) previsti dai modelli di CMEs sia tramite l'analisi di un evento i cui dati spettroscopici sono particolarmente completi (Ciaravella & Raymond, 2008) che partecipando ai lavori di un ISSI workshop su tale tematica (Vrsnak et al 2009).

Una proposta SR&T della NASA ha finanziato un programma di costruzione di un catalogo delle osservazioni UltraViolette di UVCS da includere nel catalogo più generale della NASA. Questo lavoro è stato svolto dalla Dr Ciaravella in collaborazione con il Dr J. Raymond (Smithsonian Astrophysical Observatory) e il Dr. S. Giordano (INAF-OATO). La prima distributione del catalogo, che comprende i dati spettroscopici dal 1996 al 2005, è stata inclusa, a giugno 2009, nel catalogo generale della NASA http://cdaw.gsfc.nasa.gov/CME_list/.

Una seconda proposta SR&T (07-SHP07-0050, 2008) dal titolo "Post-Eruption Heating of CME Plasma" è stata finanziata per lo studio dell'energia associata al riscaldamento del materiale espulso durante i CMEs. Collaboratrice della proposta il cui P.I è il Dr. J. Raymond è la Dr A. Ciaravella.

1.2.2 Modelli

Nel recente passato è stato messo a punto un modello magnetoidrodinamico per studiare la propagazione di frammenti di CME nella corona esterna e il ruolo che vi riveste il campo magnetico ambiente. Si è così appurato che il campo magnetico tende a isolare termicamente i frammenti, impedendone così il riscaldamento da parte della corona circostante più calda, e a favorirne l'espansione (Pagano et al. 2007, A&A, 464, 753).

Più recentemente il modello è stato arricchito con la descrizione dell'evoluzione delle frazioni di ionizzazione e si sono così potute studiare le tracce diagnostiche dei fronti d'urto generati durante la propagazione di CMEs, che spingono il plasma fuori equilibrio di ionizzazione (Pagano et al. 2008). Questo modello è in grado di rispondere ad alcune questioni finora irrisolte. Sintetizzando l'emissione di alcune righe osservate durante questi fenomeni con lo strumento SoHO/UVCS, si sono giustificati allargamenti e intensificazioni di riga osservati e si è prodotto un utile strumento diagnostico per riconoscere i fronti d'urto nella corona solare. Il modello è stato anche molto utile per comprendere il ruolo che possono avere la conduzione termica ed il campo magnetico nella propagazione di shock nella corona solare.

Ultimamente si è avviato con lo stesso tipo di modelli uno studio delle configurazioni campo magnetico e plasma coronale favorevoli allo sviluppo di eruzioni di plasma verso lo spazio interplanetario. Questi modelli hanno il vantaggio di poter esaminare condizioni di plasma in regime bilanciato tra pressione magnetica e pressione del plasma, laddove in genere si studiano regimi in cui domina la prima. Risultati preliminari mostrano che, anche partendo da una configurazione magnetoidrostatica, l'eruzione di strutture magnetiche può avere luogo per effetto di instabilità magneoidroninamiche, accompagnate dalla riconnessione magnetica.

1.3 Il Sole come stella

È possibile studiare la corona solare in maniera molto dettagliata grazie alla possibilità di risolvere le sue strutture spazialmente, e grazie alla possibilità di raccogliere la radiazione da essa prodotta con livello S/N estremamente elevato. In conseguenza di ciò lo studio delle corone delle altre stelle si basa sulle conoscenze acquisite per la corona solare, che viene infatti adottata come modello di partenza.

Essendo il Sole una stella poco attiva, la sua corona differisce molto da quella di stelle attive. La distribuzione in temperatura della misura di emissione, EM(T), di stelle attive ha solitamente un picco a 8-20 MK (osservato anche in assenza di brillamenti evidenti), e, in alcuni casi, significative quantità di EM
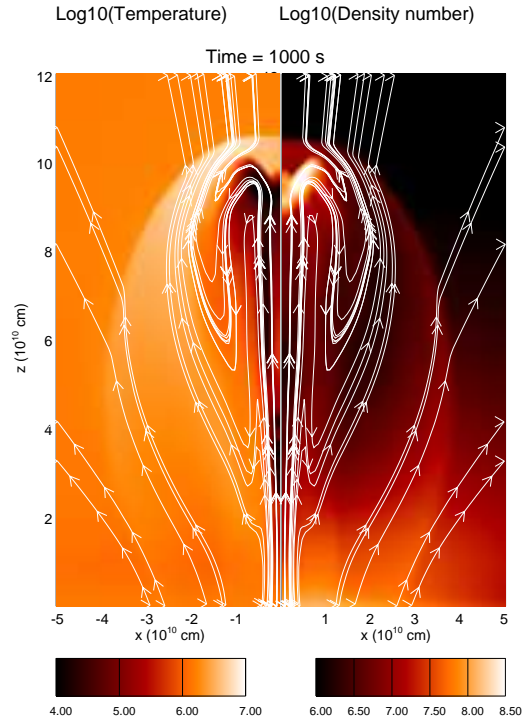
Figura 3: La figura mostra una sezione della temperatura (pannello di sinistra) e della densità (pannello di destra) per il modello di propagazione dei fronti d'urto nella corona. Le linee bianche sono le linee di campo magnetico (Pagano et al. 2008).

a temperature maggiori (20-30 MK). Al contrario il Sole ha il picco della EM(T) a temperature minori (1-2 MK), e quantità significative di misura di emissione a 10 MK sono osservate solo durante brillamenti intensi. Si è pensato quindi che il picco caldo nella EM(T) di stelle attive possa essere dovuto alla presenza di numerosi brillamenti di tipo solare.

Da questo quadro emergono alcuni quesiti. Qual è il ruolo relativo, nel Sole, di brillamenti e corona quiescente? Ovvero, qual è la distribuzione di misura di emissione totale della corona solare? Come si confronta questa EM(T) totale del Sole rispetto alle altre stelle? Assumendo che l'intera corona solare sia riscaldata da brillamenti (nano, micro, e macro-brillmaneti), che forma hanno la EM(T) dei macro-brillamenti, e la EM(T) del plasma apparentemente quiescente?

Per investigare questi aspetti è necessario studiare un campione rappresentativo di brillamenti solari (per quanto i brillamenti solari siano studiati in dettaglio, l'effetto medio di un campione rappresentativo non è noto). I satelliti GOES osservano in maniera continua la radiazione della corona solare, integrata spazialmente, e garantiscono quindi un monitoraggio temporale, con risoluzione di circa 3 s, praticamente privo di gap. Al fine di avere un set rappresentativo di tutti i brillamenti solari abbiamo scelto di analizzare i dati GOES corrispondenti ad intervalli di tempo di un mese ciascuno. La scelta di un mese ci permette infatti di avere un intervallo di tempo sufficientemente lungo rispetto alla durata tipica di un brillamento, sufficientemente lungo da comprendere un numero elevato di brillamenti, sufficientemente lungo da monitorare tutta la superficie del Sole, sufficientemente breve da potere studiare le eventuali variazioni legate al ciclo solare.

A partire da un mese ininterrotto di dati GOES abbiamo quindi ottenuto una EM(T) mediata nel tempo di tutti i brillamenti registrati (Argiroffi et al. 2008, A&A, 488, 1069). Abbiamo deciso di analizzare
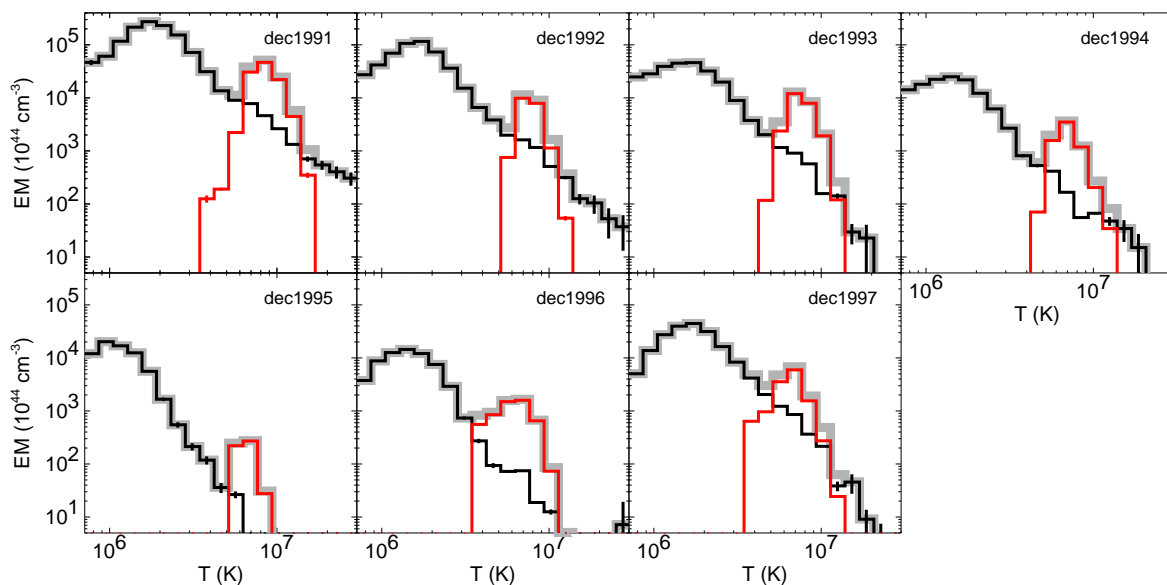
Figura 4: Distribuzioni di misura di emissione, mediate su un mese, della corona quiescente (in nero), dei brillamenti (in rosso), e totale (in grigio) ottenute, rispettivamente, dai dati di Yohkoh/SXT e GOES (Argiroffi et al. 2008).
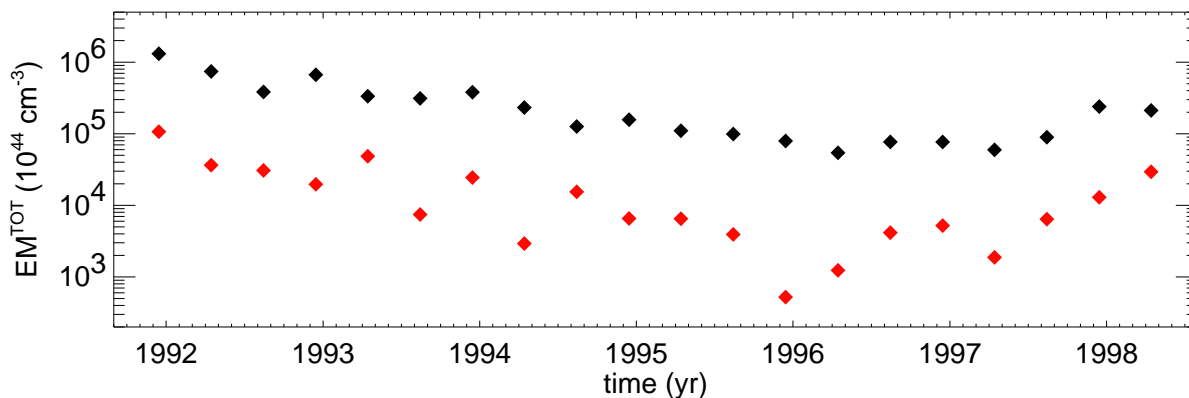
Figura 5: Misura di emissione totale del plasma quiescente (in nero) e di quello presente nei brillamenti (in rosso) durante diverse fasi del ciclo solare (Argiroffi et al. 2008).

svariati intervalli di un mese (ricavando la EM(T) di tutti i brillamenti mediata nel tempo per ciascun mese considerato) al fine di esplorare le diverse fasi del ciclo solare.

Per ogni mese preso in esame abbiamo anche ricavato la EM(T) mediata nel tempo della corona quiescente (utilizzando il nostro metodo basato su dati Yohkoh, Peres et al. 2000, ApJ, 528, 537). In questo modo la EM(T) della corona quiescente può essere confrontata con quella dei brillamenti, e sommata ad essa per avere la EM(T) totale della corona solare.

I risultati sono mostrati in Fig. 4 e 5. La Fig. 4 mostra le EM(T), mediate su un mese, della corona quiescente, dei brillamenti, e totale, distanziate di un anno una dall'altra. In Fig. 5 sono riportati i valori totali di misura di emissione sia della componente legata ai brillamenti che quella quiescente, in funzione del tempo.

Il picco EM(T) dovuto ai brillamenti si colloca intorno a 6-8 MK, e spicca rispetto al resto della misura di emissione, sia nelle fasi di elevata attività solare, che nelle fasi meno attive. Questo implica che la EM(T) totale del Sole presenta due picchi, quello freddo è dovuto a strutture quiescenti, e quello caldo è dovuto ai brillamenti. Entrambe le componenti seguono il ciclo solare.

Il picco caldo della EM(T) solare è simile a quello presente in stelle molto attive. Questo supporta l'ipotesi che il picco caldo nella EM(T) di stelle attive possa essere dovuto ad un numero elevato di brillamenti di tipo solare. Tuttavia questo picco caldo della EM(T) solare non è altrettanto grande (sia in termini assoluti che rispetto alla EM(T) fredda) rispetto al picco caldo presente in stelle attive. Inoltre se si confronta il Sole con stelle via via più attive, si trova che il picco caldo della EM(T) aumenta maggiormente di quanto non aumenti la componete fredda della EM(T). Si deduce quindi che la componente quiescente (responsabile della parte fredda della EM(T)) ed i brillamenti (responsabili del picco caldo della EM(T)) non scalano allo stesso modo all'aumentare dell'attività stellare.

Infine, se assumiamo che tutta la corona (sia la parte quiescente che i brillamenti) sia riscaldata da brillamenti (nano, micro, e macro-brillamenti), il fatto che la la EM(T) totale abbia due picchi può avere due possibili spiegazioni: o la distribuzione dei brillamenti è bimodale, o è bimodale la risposta ai brillamenti del plasma confinato.

2 Fisica Stellare Galattica

Si tratta di uno dei filoni di ricerca tradizionalmente condotti dai ricercatori dell'Osservatorio Astronomico di Palermo (OAPa). Questi studi vengono svolti nell'ambito di una ampia rete di collaborazioni locali (ricercatori e dottorandi del D.S.F.A, Università di Palermo), nazionali (Osservatori di Arcetri e Capodimonte) e internazionali: Center for Astrophysics (Boston, Stati Uniti), Institute of Astronomy (Cambridge, Regno Unito), Keele University (Keele, Regno Unito), University of Exeter (Exeter, Regno Unito), CalTech (Pasadena, Stati Uniti), Agenzia Spaziale Europea ESA/ESTEC (Nordwijk, Paesi Bassi), ESO (Santiago, Chile), Hamburger Sternwarte (Hamburg, Germania), Leicester University (Leicester, Regno Unito), Paul-Scherrer Institut (Villingen, Svizzera), Laboratoire d'Astrophysique de l'Observatoire de Grenoble (Grenoble, Francia), Penn State University (Stati Uniti), CURZA (Argentina).

2.1 Ammassi aperti e regioni di formazione stellare

Lo studio degli ammassi aperti gioca un ruolo fondamentale nella comprensione dell'evoluzione delle stelle e delle loro atmosfere nelle varie fasi della loro esistenza. Tale studio permette di fissare alcuni parametri stellari, in generale noti con grande incertezza, quali la distanza, la composizione chimica e l'età. Le osservazioni di ammassi consentono lo studio di campioni stellari con un ampio intervallo di masse, ma con altri parametri cruciali fissati; il confronto fra ammassi diversi permette inoltre di determinare gli effetti dell'età e della metallicità.

2.1.1 Identificazione di stelle giovani del Taurus-Aurigae nell'*XMM-Newton Extended Survey of Taurus* (XEST)

I ricercatori dell'OAPa hanno partecipato ad una collaborazione internazionale, guidata dal Dr. M. Güdel del Paul Scherrer Institut, dedicata allo studio della regione di formazione stellare del Taurus-Auriga per mezzo di osservazioni effettuate con gli strumenti EPIC ed RGS di *XMM-Newton*. La regione del Taurus-Auriga è una delle più attive e più vicine (140 pc) regioni di formazione di stelle di piccola massa, contenente diverse protostelle, stelle T Tauri classiche e weak-lined e nane brune. La regione copre una vasta regione del cielo, essendo costituita da varie nubi molecolari più o meno distanti tra loro, e quindi richiede

diversi puntamenti per poterne studiare le proprietà globali. Il progetto, denominato *XMM-Newton Extended Survey of the Taurus Molecular Cloud* (XEST) è stato basato su una serie di 19 puntamenti di circa 30 ks ciascuno su altrettante regioni della nube molecolare di Taurus-Auriga (TMC), a cui sono state aggiunte 9 osservazioni di altri campi della regione disponibili nell'archivio di *XMM-Newton*. In totale la survey copre un'area di circa 5 gradi quadrati. I risultati dell'analisi sono stati presentati in una serie di 16 articoli, pubblicati a giugno 2007 in una sezione speciale di Astronomy & Astrophysics (vol. 468).

Uno degli scopi della survey è stato quello di identificare nuovi membri della regione di formazione stellare grazie alla loro rivelazione in raggi X. I ricercatori di Palermo hanno identificato, fra le sorgenti X non associate a oggetti già noti, 57 sorgenti con controparte infrarossa e fotometria compatibile con la loro appartenenza a questa regione. Tra questi è stato possibile individuare 12 candidati con maggiore probabilità di appartenenza alla regione di Taurus-Auriga, sulla base delle alte temperature medie coronali derivate dagli spettri X e/o dall'osservazione di brillamenti intensi.

Nel 2007 sono stati ottenuti spettri ottici di 25 tra i candidati più brillanti nel visibile con il Telescopio Nazionale Galileo (TNG) situato sull'isola di La Palma e gestito dall'INAF, allo scopo di verificare la loro appartenenza alla regione di Taurus-Auriga tramite misure di righe in assorbimento del Litio, studio dei profili di righe Hα in emissione, misure di gravità superficiale e classificazione spettrale. Questo studio (Scelsi et al. 2008) ha portato alla conferma di 10 nuovi membri della regione TMC, mentre 3 altri candidati restano incerti.

La Fig. 6 mostra un diagramma massa $-$ luminosità X, $M - L_{\rm X}$, per le stelle di cui è stato possibile stimare la massa. Da questa figura è possibile trarre diverse conclusioni interessanti: 1) tutti i nuovi membri del TMC cadono all'interno di una fascia centrata su una relazione $M - L_{\rm X}$ precedentemente determinata dai membri già noti della regione, mentre le 5 sorgenti al di fuori di questa fascia sono state verificate non appartenervi; 2) parte della correlazione $M - L_{\rm X}$ può essere spiegata con la presenza di stelle in regime di saturazione ($L_{\rm X}/L_{\rm bol} \approx 10^{-3}$) con età diverse ($t > 10^6$ anni); stelle di campo più vecchie possono essere confuse con stelle di pre-sequenza principale della TMC, per cui la relazione $M - L_{\rm x}$ è una condizione necessaria ma non sufficiente per stabilire l'appartenenza di candidati alla regione di formazione stellare; 3) d'altra parte, la presenza di brillamenti nell'emissione X o l'evidenza di plasma caldo rappresentano un criterio di selezione sufficiente ma non necessario, e quindi complementare al precedente.

2.1.2 Studio dell'emissione X di protostelle nel *Chandra Orion Ultradeep Project* (COUP)

Il *Chandra Orion Ultradeep Project* (COUP) consiste in un'osservazione molto profonda (850 ks) della regione di formazione stellare della nebulosa di Orione ottenuta con *Chandra*. Questo progetto ha coinvolto una vasta collaborazione internazionale di diverse decine di ricercatori da parecchie istituzioni incluso OAPa, guidata dal Prof. E. Feigelson della Penn State University. I risultati principali sono stati pubblicati in un numero dedicato della rivista Astrophysical Journal Supplement del mese di Ottobre 2005 (vol.160). In seguito, vari altri argomenti di ricerca non trattati negli articoli usciti nel 2005 sono stati affrontati.

Utilizzando i dati di COUP abbiamo investigato l'origine e l'evoluzione dell'emissione X negli oggetti protostellari attraverso un confronto delle proprietà X delle stelle di Orione in diverse fasi evolutive. L'emissione X delle protostelle non è ancora ben compresa, anche a causa delle difficoltà nell'osservazione dei raggi X di questi oggetti. Nel nostro progetto abbiamo confrontato le loro luminosità, gli assorbimenti, le temperature del plasma emittente e la loro variabilità in banda X con quelli delle stelle più evolute di tipo T Tauri (Classe II e III) in modo da capire se l'interazione tra il materiale circumstellare e l'oggetto centrale può influenzare l'emissione X (Prisinzano et al. 2008, ApJ, 677, 401). Innanzitutto abbiamo collezionato il catalogo degli oggetti dell'ammasso di Orione più profondo e completo attualmente disponibile, dall'UV fino a $8\,\mu$m utilizzando dati del *HST Treasury Program*: immagini ottenute con *Spitzer*/IRAC ed esposizioni profonde e quasi simultanee nelle bande $UBVI$ e JHK ottenute con WFI al telescopio
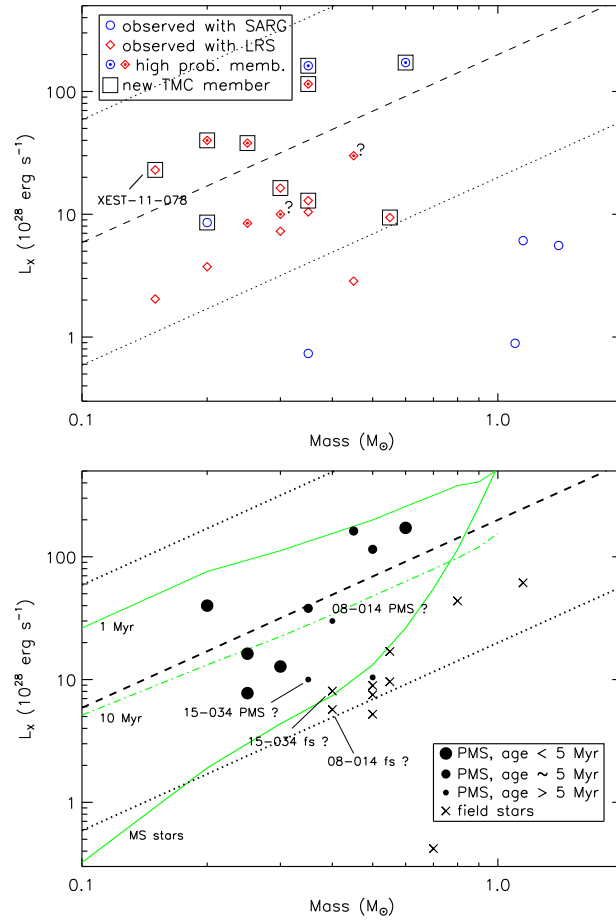
Figura 6: *Pannello superiore*: Posizioni dei candidati di Taurus-Auriga nel diagramma $M - L_{\rm X}$, con masse e luminosità X stimate prima delle osservazioni ottiche, assumendo che le stelle fossero tutte appartenenti alla regione. I simboli con un punto centrale indicano i migliori candidati stabiliti sulla base della presenza di brillamenti o evidenza di plasma caldo. I nuovi membri confermati sono indicati dai quadrati. Le linee punteggiate indicano la fascia determinata dai membri di Taurus-Auriga noti in precedenza, all'interno della quale la linea tratteggiata è la relazione di *best-fit*. *Pannello inferiore*: diagramma $M - L_{\rm X}$ aggiornato in base ai risultati delle osservazioni ottiche con il TNG. I cerchi indicano i nuovi membri individuati da Scelsi et al. (2008), con diverse grandezze dei simboli in base all'età. Le curve in verde indicano il luogo dei punti delle stelle in regime di saturazione, in funzione dell'età, come indicato in figura.

ESO 2.2m e ISPI al telescopio di $4\,$m del CTIO. Tramite questi dati abbiamo selezionato: oggetti che sono con alta probabilità protostelle di Classe 0/I, stelle di Classe II, ed un campione di stelle di Classe III con emissione IR compatibile con normali fotosfere. Il risultato principale è che gli oggetti di Classe 0-Ia sono significativamente meno luminosi in raggi X delle stelle più evolute di Classe II con massa maggiore di $0.5\,M_\odot$ e quest'ultime hanno luminosità X simili a quelle delle stelle di Classe 0-Ib. Questo risultato supporta l'ipotesi che l'innesco dell'emissione X avviene ad uno stadio molto iniziale della formazione stellare. Le proprietà spettrali e di variabilità temporale delle stelle di Classe 0-I sono simili a quelle degli oggetti più evoluti di Classe II e III, eccetto per il maggiore assorbimento probabilmente dovuto al gas presente nell'inviluppo e/o nel disco circumstellare degli oggetti protostellari.

2.1.3 Studio dell'emissione X di stelle giovani in ρ Ophiuchi con il *Deep Rho Ophiuchi XMM-Newton Observation* (DROXO)

Ricercatori dell'OAPa, guidati da S. Sciortino, in collaborazione con un gruppo di ricercatori europei ha proposto ed avuto approvato un ESO/*XMM-Newton* Large Joint Project denominato *Deep Rho Ophiuchi XMM-Newton Observation* (DROXO). Si tratta di un'osservazione profonda in banda X di circa 500 ks, del Core F delle nubi molecolari di ρ Oph, correlata da una serie di osservazioni di *follow-up* con i telescopi di ESO.

L'analisi dei dati è stata molto complessa a causa di un fondo molto elevato ed estremamente variabile nel tempo, ed in particolare il filtraggio temporale si è dovuto adattare sorgente per sorgente allo specifico tipo di analisi da condurre e alla intensità della specifica sorgente. Utilizzando un filtraggio teso a massimizzare la ricerca di sorgenti deboli, possibili candidate ad essere "Young Stellar Objects" (YSOs) nascosti da una coltre del materiale della nube molecolare parente, sono state trovate 111 sorgenti nel campo di vista utilizzando in modo congiunto i dati dei tre camere CCD (2 MOS e 1 PN) di EPIC (Pillitteri et al. 2009, in preparazione). Di queste sorgenti $\sim$30 hanno spettri X per i quali sono stati accumulati più di 2000 conteggi. L'analisi spettrale di 93 delle sorgenti rivelate mostra che il plasma ha in media una temperatura coronale di circa 2.5 keV (essendo $0.7-6.0$ keV l'intervallo di valori di kT alle frazioni 10 % e 90 % del totale della distribuzione di kT) e con un forte assorbimento da parte di materiale lungo la linea di vista ($N_{\rm H} \sim 2\cdot 10^{22}$ cm^{-2}). Le luminosità X in banda $0.3-10$ keV mostrano in funzione della massa un buon accordo con la relazione $M-L_{\rm X}$ trovata da Preibisch et al. (2005, ApJS, 160, 401) nel campione dei dati COUP di Orione. Il rapporto tra $L_{\rm X}/L_{\rm bol}$ mostra saturazione al valore di $\sim 10^{-3}$ per masse minori o uguali a $0.7\,M_\odot$. Sono stati studiati 8 brillamenti intensi su 7 membri di ρ Oph allo scopo di caratterizzerne le proprietà ed, in particolare, di identificare le dimensioni delle regioni in cui hanno luogo tali brillamenti. In alcune sorgenti di COUP si sono viste strutture magnetiche con lunghezze paragonabili a quelle della distanza fra la superficie della stella e il raggio di corotazione del disco (Favata et al. 2005, ApJS, 160, 469). Degli 8 brillamenti studiati in DROXO, 2 avvengono in strutture la cui lunghezza è superiore a tre volte il raggio stellare (Flaccomio et al., in preparazione). Pur nei limiti della statistica dei piccoli numeri, la frazione dei casi con strutture magnetiche molto lunghe è paragonabile a quella ricavata dall'analisi di circa 30 brillamenti intensi in sorgenti di COUP. Ulteriori studi che si avvalgono dei dati di DROXO sono descritti nella Sez. 2.3.5.

2.1.4 Gli ammassi di σ Ori e λ Ori

Durante il 2008 astronomi dell'OAPa in collaborazione con il gruppo di formazione stellare dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri hanno completato l'analisi dei dati relativi ad osservazioni degli ammassi giovani (circa 5 milioni di anni) σ Ori e λ Ori, realizzate con lo spettrografo ottico multioggetto FLAMES montato al fuoco del Very Large Telescope dell'ESO. I principali risultati di questo lavoro sono stati (Sacco et al. 2008, A&A, 488, 167): (i) la selezione di 65 e 45 membri rispettivamente in σ Ori e λ Ori, attraverso l'utilizzo combinato delle misure di velocità radiale, di larghezza equivalente dell'Hα e della riga del litio a 6708 Å; (ii) l'identificazione di 16 nuovi sistemi binari, tra cui 10 probabili membri dei due ammassi, attraverso le misure di velocità radiale; (iii) la determinazione della frazione di sorgenti in accrescimento attraverso la misura della larghezza della riga dell'Hα (al 10% del massimo) e della larghezza equivalente sia della stessa riga dell'Hα, che di altre righe di emissione presenti nell'intervallo spettrale osservato con FLAMES (He I a 6678 Å, NII a 6583 Å, SII a 6716 e 6731 Å); (iv) la misura delle velocità rotazionali di 20 stelle appartenenti ai due ammassi.

I risultati relativi alla selezione dei membri hanno permesso di determinare correttamente la frazione di stelle con disco. Precedenti studi presenti in letteratura, sottostimano la frazione di stelle con disco, perché utilizzano un catalogo di membri poco preciso basato su misure di fotometria e spettroscopia a
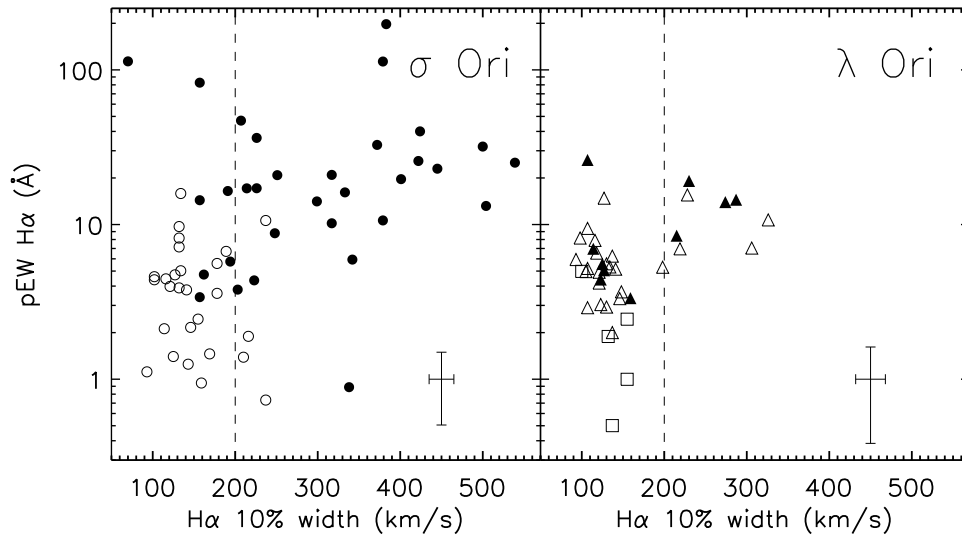
Figura 7: Larghezza equivalente dell'Hα in funzione della larghezza al 10% del massimo, per stelle appartenenti agli ammassi σ Ori e λ Ori. I simboli pieni e vuoti rappresentano stelle con e senza il disco circumstellare. Le mediane degli errori sono riportate in basso a destra. Figura tratta da Sacco et al. (2008).

bassa risoluzione. La frazione di stelle con disco in σ Ori è risultata significativamente più alta che in λ Ori. Questo risultato, come mostrato in Fig. 7, è confermato dalle misure della riga dell'Hα, indicatore di accrescimento. Per spiegare le differenze tra i due ammassi sono state formulate due ipotesi: che i dischi delle stelle appartenenti a λ Ori siano fotoevaporati a causa della radiazione delle stelle massicce appartenenti allo stesso ammasso o che λ Ori sia più vecchio di σ Ori.

Parte delle sorgenti in accrescimento selezionate con FLAMES sono state osservate con lo spettrografo infrarosso a bassa risoluzione SOFI montato al fuoco del telescopio NTT (3.6 m) gestito dall'ESO. I dati derivati da queste osservazioni hanno consentito di determinare i tassi di accrescimento delle stelle con un metodo analogo a quello usato per la più giovane regione di formazione stellare di ρ Oph (Natta et al., 2006). Si è trovato che tali tassi di accrescimento sono significativamente più piccoli in σ Ori, il che è consistente con il modello viscoso di dischi circumstellari (Gatti et al., 2008, A&A, 481, 423). Inoltre, a partire dai dati ottenuti attraverso lo spettrografo FLAMES, E. Rigliaco (dell'Osservatorio Astrofisico di Arcetri) ha scoperto nell'ammasso σ Ori una stella con un disco in fase di transizione soggetto ad una forte fotoevaporazione dovuta all'emissione ad alta energia della stella di tipo spetrale O posta al centro dell'ammasso (Rigliaco et al. 2009, A&A, 496, L13). Sempre nel contesto della collaborazione tra l'OAPa e l'Osservatorio Astrofisico di Arcetri, D'Orazi et al. (2009, A&A, in stampa) hanno misurato la metallicità di stelle appartenenti all'ammasso della nebulosa di Orione e a λ Ori.

È stata analizzata un'osservazione X, effettuata con il satellite *XMM-Newton*, dell'ammasso situato intorno alla stella calda λ Ori. La caratteristica di questa regione è che è stata soggetta all'esplosione di una supernova circa $1-2$ milioni di anni fa, che ha spazzato il gas della nube progenitrice, formando un anello di gas e polvere che circonda la regione, e ha fermato il processo di formazione stellare. L'analisi dei dati EPIC ha portato alla rivelazione di 58 sorgenti associate a membri o candidati membri dell'ammasso, incluse 4 stelle calde. Confrontando i risultati ottenuti per le stelle di tipo K e early-M con e senza disco, si è trovato che le stelle senza disco hanno una luminosità media maggiore di un fattore 2 e sono rivelate in percentuale maggiore rispetto alle stelle con disco. Non è stato possibile effettuare un confronto tra le stelle che presentano accrescimento e quelle che non accrescono, dato l'esiguo numero delle prime nel campo di vista di *XMM-Newton*. L'analisi degli spettri delle sorgenti più brillanti indica che la loro corona

è caratterizzata da due componenti termiche a temperature $kT_1 \sim 0.2 - 0.8\,\mathrm{keV}$ e $kT_2 \sim 0.8 - 2\,\mathrm{keV}$, con abbondanze molto minori di quelle solari ($Z \sim 0.1 - 0.3\,Z_\odot$), simili a quanto trovato in generale per le corone di stelle giovani. Il confronto con l'ammasso σ Ori, di età simile, non evidenzia differenze nelle proprietà coronali delle stelle, indicando che l'esplosione della supernova non ha influenzato significativamente l'attività magnetica delle stelle dell'ammasso. I risultati preliminari di questo studio sono stati presentati al congresso *'Cool Stars, Stellar Systems and the Sun 15', St. Andrews, 21–25 luglio 2008*, mentre i risultati finali stanno per essere inviati per la pubblicazione su Astronomy & Astrophysics. Per la stella centrale λ Orionis è stato anche ottenuto lo spettro RGS ad alta risoluzione, la cui analisi preliminare indica la presenza di righe allargate e bassa temperatura del plasma, caratteristiche di emissione da parte del vento stellare.

2.1.5 La Nebulosa dell'Aquila e NGC 6611: frequenza ed evoluzione dei dischi

Data la sua grande popolazione di stelle massicce, l'ammasso stellare aperto giovane NGC 6611, al centro della Nebulosa dell'Aquila, è stato scelto come *target* per lo studio sull'influenza della radiazione UV emessa da tali stelle sulla formazione stellare e l'evoluzione dei dischi circumstellari nelle stelle di piccola massa vicine ad esse. In Guarcello et. al (2009, A&A, 496, 453) sono stati analizzati dati ottici nelle bande BVI (ottenuti con il telescopio WFI@ESO 2.2m), infrarossi nelle bande JHK (dal 2MASS Point Source Catalog) ed a $3.6\,\mu$m, $4.5\,\mu$m, $5.8\,\mu$m ed $8.0\,\mu$m (dal catalogo GLIMPSE realizzato da osservazioni *Spitzer*/IRAC) ed in raggi X (da un'osservazione *Chandra*/ACIS-I estratta dall'archivio). Lo studio ha mostrato che i membri con disco sono relativamente più numerosi di quelli senza disco a maggiori distanze dalle stelle massicce, dove la radiazione UV incidente è minore.

Per studiare la formazione stellare nelle regioni esterne della Nebulosa dell'Aquila, priva di stelle massicce, e confrontarla con la regione centrale, dove si trova NGC 6611, abbiamo ottenuto due nuove osservazioni *Chandra*/ACIS-I, una ad Est comprendente una colonna di polvere anche osservata con HST ed una a Nord-Est centrata su un ammasso che contiene stelle di Classe I/II fortemente arrossate. Utilizziamo inoltre i dati WFI ed IRAC, già analizzati in Guarcello et al. (2009), e dati infrarossi in bande JHK dalla Galactic Plane Survey di UKIDSS (più profondo di tre magnitudini rispetto al catalogo 2MASS e con una maggiore risoluzione spaziale). Nei tre campi di *Chandra* analizzati sono state identificate 1830 sorgenti X, di cui 1254 sono compatibili con l'essere associate con NGC 6611 e 504 sono prive di controparte ottica o infrarossa. Nelle regioni esterne 189 sono le sorgenti X compatibili con la nebulosa e 315 quelle prive di controparti. I dati UKIDSS, in combinazione con altre diagnostiche indipendenti per identificare le stelle di presequenza con dischi circumstellari, rivelano 625 sorgenti che sono buone candidate ad avere un disco. Il totale di candidate stelle con disco selezionate è pari a 766 sorgenti, tra cui: 505 nel campo ACIS centrale (le altre nelle regioni esterne) e 258 sorgenti X. Nella regione centrale corrispondente ad NGC 6611, la frequenza dei dischi ha l'andamento spaziale scoperto in Guarcello et al. (2009), variando dal 30% fino a valori attorno al 50%. I dati analizzati non evidenziano dipendenze significative della frequenza dei dischi dalla massa delle stelle.

Usando le sorgenti UKIDSS senza controparte ottica, dominate dalle stelle giganti a distanze maggiori della Nebulosa dell'Aquila, è stata realizzata una mappa di estinzione della regione. Tale mappa evidenzia come le regioni più assorbite nella Nebulosa dell'Aquila siano proprio quelle a Est e Nord-Est rispetto alla zona centrale ospitante NGC 6611, che corrispondono alle zone osservate in raggi X. L'estinzione visuale varia disomogeneamente da $A_V \sim 2.5$ a $\sim 6\,\mathrm{mag}$.

L'età media dei membri dell'ammasso è stata calcolata usando le sorgenti X senza disco, compatibili con l'essere associate alla nebulosa, nel diagramma ottico V vs $V - I$ dearrossato, tenendo conto della mappa di estinzione ottenuta. Lo studio ha permesso di evidenziare come nella regione centrale c'è una maggiore concentrazione di sorgenti più giovani, con un'età mediana inferiore ad 1 milione di anni, rispetto
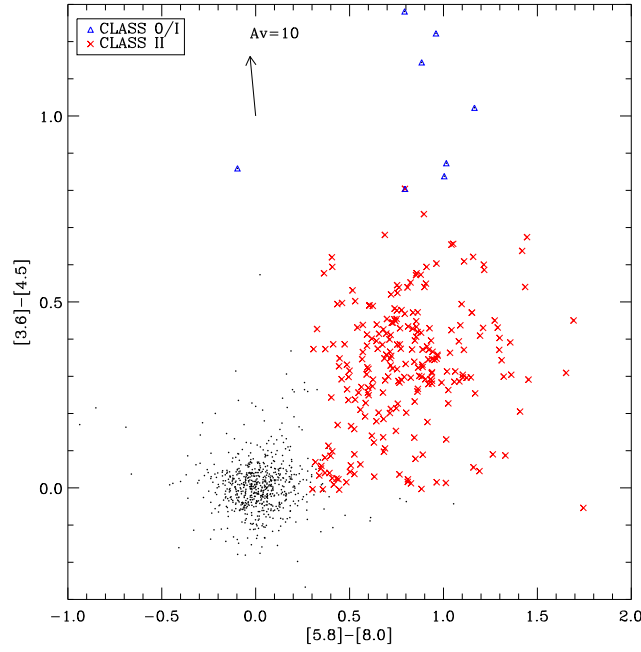
Figura 8: Diagramma colore-colore delle sorgenti infrarosse del campo di NGC 1893 nelle quattro bande di *Spitzer*/IRAC. I triangoli rappresentano le protostelle di Classe 0/I, mentre le crocette indicano gli oggetti la cui distribuzione spettrale dell'energia è dominata dall'emissione del disco.

ad alcune zone periferiche, dove invece l'età mediana delle sorgenti va aumentando fino a valori maggiori dei 3 milioni di anni. Il trend più evidente è da Nord-Ovest a Sud-Est, dove l'età mediana varia da 0.2 a 3.1 milioni di anni. Sebbene la regione centrale sia quella più giovane, la sua frequenza dei dischi è minore di molte regioni periferiche, il che potrebbe essere legato alla radiazione delle stelle massicce.

2.1.6 NGC 1893: il ruolo dell'ambiente sulla formazione stellare

Al fine di studiare la relazione tra la formazione stellare e le condizioni ambientali nelle regioni di formazione stellare, è stata condotta una campagna di osservazione nell'ammasso NGC 1893 in diverse bande. La caratteristica di questo ammasso è che si trova a grande distanza dal centro galattico (≥ 11 kpc), dove le nubi molecolari sono più rare e meno dense: le condizioni ambientali in cui si formano le stelle in questa parte della Galassia sono quindi profondamente diverse da quelle delle regioni di formazione stellare solitamente studiate (per esempio quella di Orione o del Toro). NGC1893 è dunque un candidato ideale per studiare una regione con caratteristiche peculiari e potere confrontare i risultati con quelli degli ammassi vicini. Sono state effettuate osservazioni in diverse bande di energia al fine di poter ottenere un panorama completo delle proprietà dell'ammasso. A tale scopo è stato proposto e accettato un *Large project* congiunto *Chandra* e *Spitzer* per le osservazioni in banda X e in banda infrarossa tra 3.6 e 8.0μm. Sono state inoltre ottenute osservazioni ottiche (V, R, H_α) dal TNG con lo strumento DOLORES e dal telescopio di 2.2m su Calar Alto con CAFOS e osservazioni nel vicino infraross (J, H e K) dal TNG con NICS.

L'osservazione in banda X è stata effettuata mediante *Chandra*/ACIS, che, per la sua elevata risoluzione spaziale, è particolarmente adeguato per studiare una regione così lontana e ricca di sorgenti. Con un tempo di esposizione totale di 450 ks (più di cinque giorni) l'osservazione rende possibile l'identificazione di membri dell'ammasso con una completezza fino a $0.5M_\odot$, lo studio delle proprietà coronali e in

particolare la variabilità in raggi X. Mediante l'uso del software PWDETECT, che permette di identificare le sorgenti, calcolarne la posizione e stimare i flussi, sono state identificate 1021 sorgenti X. L'analisi delle immagini *Spitzer*/IRAC ha consentito di ottenere un catalogo di 1028 sorgenti, di cui il $25\,\%$ non identificate con il catalogo 2 MASS. Lo studio della distribuzione spettrale dell'energia delle sorgenti rivelate, attraverso il diagramma colore-colore nelle quattro bande di IRAC, ha permesso di identificare 242 T Tauri classiche e 7 protostelle di Classe 0/I, che appartengono all'ammasso (vedi Fig. 8), mentre il campione di candidati membri ricavato dall'osservazione X è stato utilizzato per identificare 110 membri dell'ammasso del tipo weak-lined T Tauri tra le sorgenti infrarosse. È stata stimata una frazione di dischi pari al $67\,\%$, confrontabile con la frazione osservata per regioni di formazione stellare vicine della stessa età di circa 3 milioni di anni. Tale risultato conferma che la formazione stellare è un processo attivo anche nelle regioni esterne della Galassia (Caramazza et al. 2008, A&A, 488, 211).

Contemporaneamente all'analisi dei dati X, si stanno analizzando i dati in banda V, R e H_α, al fine di caratterizzare l'ammasso mediante la determinazione dell'età, della distanza e dell'arrossamento. Inoltre, le osservazioni ottiche sono volte alla determinazione della massa delle singole stelle (Sanz Forcada et al., in preparazione). Infine, si stanno anche analizzando le osservazioni nel vicino infrarosso ottenuto con NICS@TNG che sono circa due magnitudini più profonde di 2 MASS. Unitamente ai risultati già ottenuti dalle osservazioni *Spitzer* questi dati potranno dare risultati sulle proprietà dei dischi circumstellari, comuni attorno ad oggetti giovani (Prisinzano et al., in preparazione).

Il lavoro, ancora in corso, mostra che NGC 1893 è un ammasso molto ricco con un processo di formazione stellare molto attivo. La prima conclusione di questo lavoro è che, nonostante ci si aspetti che la formazione stellare sia poco efficiente lontano dal centro galattico per l'assenza di grandi nubi di idrogeno molecolari e per la mancanza di esplosioni di supernovae, si possono comunque formare degli ammassi molto ricchi.

2.1.7 NGC 6530: formazione stellare in regioni massicce

Abbiamo continuato l'analisi di NGC 6530 nell'ambito dello studio della formazione stellare in regioni massicce. In particolare è in corso un'analisi approfondita delle proprietà spettroscopiche di alcuni membri di NGC 6530. Dopo aver ricavato importanti informazioni sull'abbondanza del litio, il contributo della riga Hα e le velocità radiali e rotazionali di un campione di stelle di tale ammasso tramite spettri FLAMES@VLT ad alta risoluzione (Prisinzano et al., 2007, A&A, 462, 123), abbiamo analizzato spettri VIMOS@VLT a bassa risoluzione (~ 3 Å) con lo scopo di derivare i tipi spettrali degli oggetti osservati. Gli spettri dei 97 candidati membri coprono il range spettrale 5200-7600 Å. L'assegnazione del tipo spettrale è stata effettuata mediante una procedura automatica di cross-correlazione fra gli spettri osservati e un campione di spettri di letteratura con tipo spettrale noto. Dal tipo spettrale è stato possibile ricavare oltre alla temperatura effettiva di tali oggetti, la misura dell'arrossamento individuale, informazione cruciale in tale regione affetta da forte assorbimento differenziale. In tal modo è possibile ricavare l'assorbimento e quindi avere una stima più accurata della luminosità che insieme alla temperatura effettiva, consente di ricavare i parametri fondamentali delle stelle, ovvero massa ed età mediante il confronto con i modelli teorici. La Fig. 9 mostra il diagramma V vs. $V - I$ dove i punti verdi indicano i valori ottenuti con la nostra procedura mentre le curve etichettate indicano, rispettivamente, le isocrone e le tracce teoriche arrossate usando il valore dell'assorbimento medio dell'ammasso, $A_{\rm V} = 1.1$ mag. Le distribuzioni dei valori di arrossamento, massa ed età di tali oggetti saranno analizzati per studiare le proprietà globali dell'ammasso, da confrontare con quelle di ammassi di età simile (Hopewell et al. 2009a, in preparazione).

NGC 6530 è oggetto di un ulteriore approfondimento riguardo la popolazione di piccola massa attraverso nuove osservazioni infrarosse molto profonde ottenute con la *survey* di ultima generazione UKIDSS. Tali osservazioni permettono di individuare i membri di massa molto piccola attraverso la presenza degli
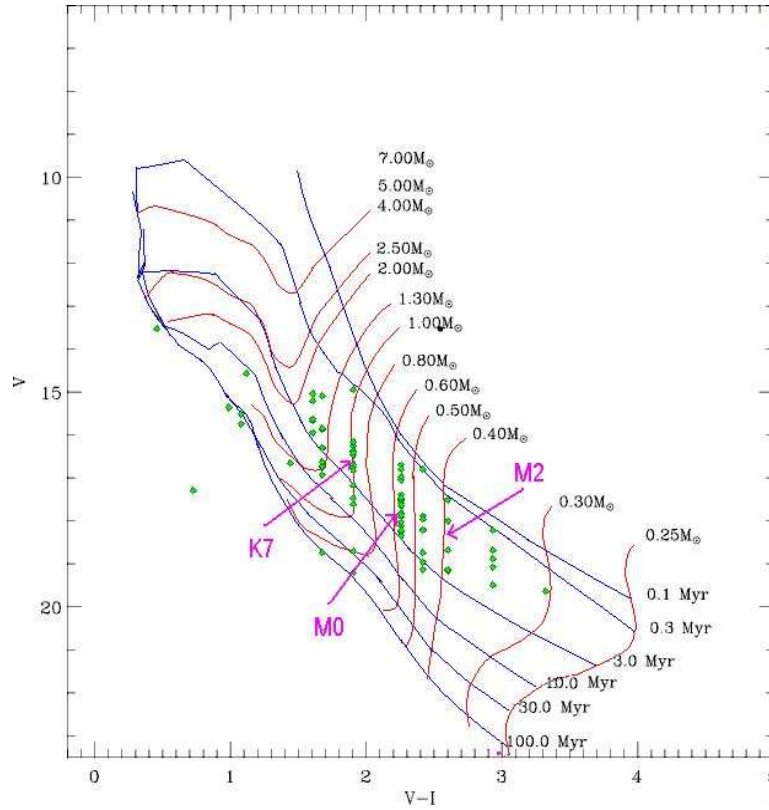
Figura 9: Diagramma V vs. $V - I$ degli oggetti in NGC 6530 osservati con lo spettrografo VIMOS; le curve etichettate indicano, rispettivamente, le isocrone e le tracce teoriche di Siess et al. (2000) arrossate usando il valore dell'assorbimento medio dell'ammasso.

eccessi infrarossi che caratterizzano gli oggetti giovani, rispetto al resto della popolazione di oggetti di campo. Il limite di sensibilità di queste osservazioni ($K \sim 19$ mag), circa tre magnitudini più elevato della precedente *survey* 2MASS, consentirà un'analisi nel vicino infrarosso di questo ammasso più approfondita di quella presentata in Damiani et al. (2006). La presenza degli eccessi infrarossi, dovuti ai dischi circumstellari, consentirà di stimare la frequenza dei dischi della popolazione di stelle di piccola massa e la loro correlazione con la distribuzione spaziale e l'arrossamento differenziale (Hopewell et al. 2009b, in preparazione). Questi studi sono stati estesi anche alla regione contigua verso est, dove sono disponibili osservazioni di archivio in raggi X attorno alla ben nota Nebulosa della Laguna, regione che fa parte dello stesso evento di formazione stellare. L'analisi delle osservazioni X è in corso (Damiani et al., in preparazione). L'insieme dei dati X e infrarossi in tutta la regione consentirà di studiare le proprietà dei diversi episodi di formazione stellare in questa regione e di ricostruirne la storia.

2.1.8 NGC 6231: determinazione della IMF

Sulla base di nuove osservazioni profonde (120 ks) in raggi X ottenute con *Chandra*/ACIS-I, è in corso lo studio dell'ammasso giovane NGC 6231 (Damiani et al. 2009, in preparazione), facente parte dell'associazione Sco OB1. Le decine di stelle massicce (di tipo spettrale O e B) di questo ammasso sono relativamente ben studiate, mentre molto poco è noto finora della sua popolazione a piccole masse. L'osservazione *Chandra* ha permesso di rivelare circa 1600 sorgenti puntiformi, di cui stimiamo che circa il $95\,\%$ sia composto di membri di piccola massa dell'ammasso, fino ad un limite di massa stimato $\sim 0.5\,M_{\odot}$. L'ammasso ri-
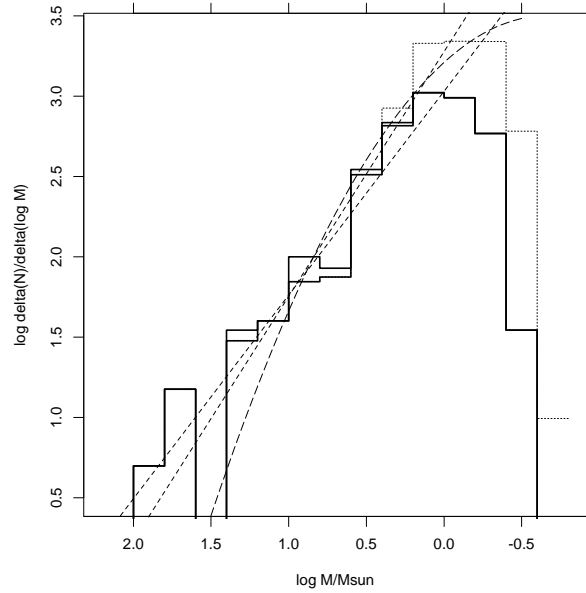
Figura 10: Funzione di massa iniziale di NGC 6231, nell'intervallo 0.3-100 $M_{\odot}$. I vari istogrammi corrispondono a differenti ipotesi usate nel costruirla; le rette sono i corrispondenti fit a legge di potenza: la legge di Salpeter è intermedia tra le due. La curva tratteggiata è un altro possibile modello, da Chabrier (2003).

sulta così ancora più ricco di NGC 6530, la cui emissione X è stata studiata da noi in precedenza (Damiani et al. 2004, 2006; Prisinzano et al. 2005) e dell'ammasso della Nebulosa di Orione. Solo la metà circa delle sorgenti X sono identificate con oggetti da cataloghi ottici o infrarossi (2 MASS), ma la distribuzione spaziale delle sorgenti non identificate mostra che esse sono in maggioranza membri dell'ammasso. Dalle sorgenti con controparte infrarossa, si trova che la formazione stellare in NGC 6231 è pressoché conclusa, poiché pochissime stelle hanno eccessi nel vicino infrarosso. In ciò, questo ammasso è simile ad NGC 2362 (studiato in raggi X da Damiani et al. 2006). A differenza di NGC 2362, la funzione di massa iniziale (*Initial Mass Function*; IMF) di NGC 6231 non presenta un deficit di stelle di piccola massa, ma ha una distribuzione di tipo Salpeter (Salpeter 1955, ApJ 121, 161) fino a circa $0.5 M_{\odot}$ (vedi Fig. 10). Questo risultato è in contrasto con la IMF dello stesso ammasso presentata in letteratura. Ciò è facilmente spiegabile con la selezione di stelle di pre-sequenza principale fatta negli studi precedenti esclusivamente tramite l'emissione Hα, che è molto incompleta in ammassi le cui stelle hanno quasi completato la fase di accrescimento (cioè di T Tauri classica). Come avviene in NGC 2362, anche in NGC 6231 i nuovi dati confermano l'esistenza di una segregazione delle stelle più massicce (già suggerita da altri autori), e ridefiniscono la dimensione dell'ammasso nel suo complesso.

2.1.9 Trumpler 16: la popolazione di piccola massa

Un nuovo studio è stato iniziato sull'ammasso Trumpler 16, nella regione di formazione stellare di Carina, una delle più massicce della Galassia. Tra i membri massicci di Trumpler 16 spicca l'oggetto peculiare η Carinae. Una nuova, profonda osservazione fatta con *Chandra*/ACIS-I (vedi Fig. 11) ha permesso di rivelare più di 1030 sorgenti X puntiformi (oltre all'intensa emissione diffusa intorno a η Carinae), la maggior parte delle quali sono membri dell'ammasso (Albacete-Colombo et al. 2008, A&A, 490, 1055). Dai diagrammi colore-magnitudine e colore-colore delle 660 controparti 2MASS delle sorgenti X rivelate
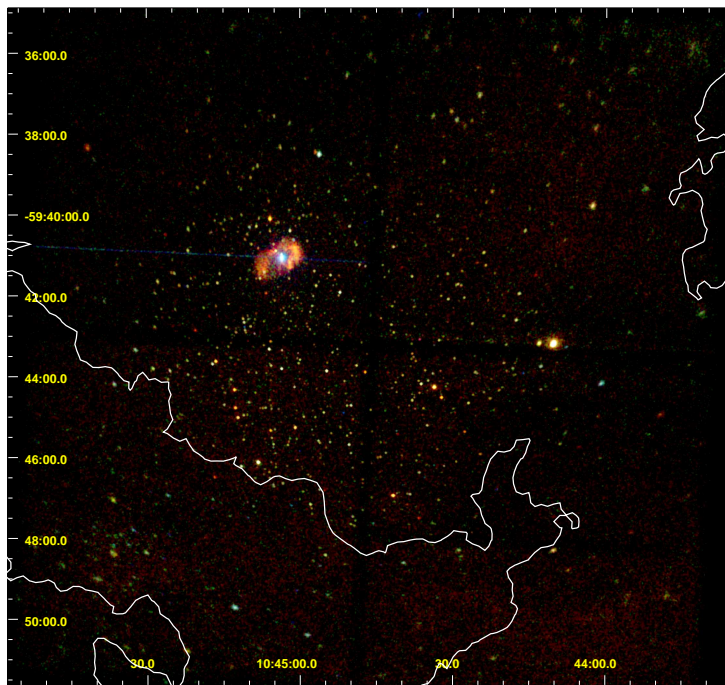
Figura 11: Immagine in raggi X ottenuta con *Chandra*, dell'ammasso Trumpler 16, e di η Carinae, circondata da un toro di emissione X diffusa. Il contorno bianco indica una regione, più esterna, dove l'assorbimento da polvere è più forte. La maggior parte delle sorgenti X di Trumpler 16 si trova in una cavità, circondata dalla nube di polvere.

si trova che la popolazione di piccola massa in Trumpler 16 ha un' alta ed inomogenea estinzione ottica, $A_V \sim 3-5$ mag (mentre le stelle OB hanno $A_V \sim 2$ mag), che impedisce, con i soli dati attualmente disponibili, stime precise di età e masse delle singole stelle. Un'età media di 3 Myr è comunque in buon accordo con i nuovi dati. La frazione di stelle che mostrano indicazioni della presenza di dischi circumstellari dai dati 2MASS è di circa il 15%, relativamente bassa rispetto a stelle della Nebulosa di Orione, o del Taurus-Auriga, ma simile ad altre regioni ricche di stelle massicce, come NGC 6231 (vedi sopra) o Cyg OB2 (Albacete-Colombo et al. 2007, A&A, 464, 211). È stata fatta un'analisi spettrale e di variabilità delle sorgenti X. In particolare, l'emissione X delle stelle massicce è stata inquadrata nel contesto di modelli di emissione X da venti stellari (possibilmente in collisione). La funzione di luminosità X delle stelle con masse tra $1.5-2.5$ masse solari è risultata ben confrontabile con quella già ricavata con metodi analoghi per le stelle dell'associazione Cygnus OB2, mentre entrambe risultano più basse di quella della Nebulosa di Orione.

2.1.10 Variabilità stellare nella regione di formazione stellare NGC 2264

NGC 2264 è una delle regioni di formazione stellare nell'intorno solare studiate con maggiore dettaglio. Allo scopo di monitorare le stelle dell'ammasso e di studiare la variabilità ottica della sua popolazione stellare è stato proposto un programma per COROT (COnvection ROtation and planetary Transits), una missione internazionale condotta dell'agenzia spaziale francese (CNES) in cooperazione con l'ESA. Gli obiettivi principali sono lo studio della struttura interna delle stelle attraverso misure di asterosismologia e la ricerca dei pianeti extrasolari con il metodo dei transiti, ma COROT è anche adeguato per uno studio di variabilità stellare con una precisione mai raggiunta.

NGC 2264 è l'unica regione di formazione stellare abbastanza vicina nella regione del cielo osservabile con COROT. L'osservazione di NGC 2264 è stata effettuata nel Marzo 2008 per un tempo di esposizione di circa tre settimane. All'interno della collaborazione, che include ricercatori di ESA, del LAOG, dell'Università di Exeter, dell'Osservatorio di Catania e di molti altri gruppi, il gruppo di OAPa ha la responsabilità degli studi sulla variabilità legata all'attività e alla rotazione stellare. Contemporaneamente all'osservazione di COROT è stata ottenuta un'osservazione di ~ 60 ks di *Director's Discretionary Time* con *Chandra*/ACIS per studiare la variabilità stellare contemporaneamente in banda ottica e X.

Abbiamo determinato i periodi rotazionali dei membri di NGC 2264 con la tecnica basata sul periodogramma di Lomb Scargle, dopo avere corretto per una serie di effetti strumentali fra cui l'eliminazione degli *outliers*, del periodo orbitale del satellite, del trend al lungo termine introdotto dal moto orbitale e delle discontinuità introdotte dai raggi cosmici. La significatività dei periodi rotazionali così derivati è stata determinata tramite estensive simulazioni. I periodi ottenuti sono stati confrontati con quelli ottenuti da terra (Lahm et al. 2004) ottenendo in media un buon accordo. Comunque i periodi brevi (~ 1 giorno) ottenuti dalle curve di luce di COROT risultano determinati molto meglio di quelli derivati da osservazioni da terra grazie alla continuità delle misure e dell'assenza dell'alternanza giorno-notte nelle osservazioni dallo spazio. Questo risultato è particolarmente rilevante perché ha effetti significativi sulla distribuzione dei periodi, che dalle misure da terra risultava bimodale (con un picco a $\sim$ 1 giorno), mentre dalle misure dallo spazio ha solo il picco a periodi più lunghi, suggerendo che il picco a 1 giorno derivato da terra è in realtà un artefatto dovuto all'alternanza giorno-notte presente nelle osservazioni da terra.

L'osservazione di COROT ha prodotto le curve di luce anche per un grande numero di stelle presenti nella regione non note come membri di NGC 2264. In questi casi, l'attività misurata dalla variabilità fotometrica, può essere usata per selezionare nuovi candidati. Il confronto della distribuzione della deviazione standard delle curve di luce dei "non-membri" presenta un eccesso di stelle variabili rispetto a un campione equivalente in un'altra regione di cielo (usata come campo di controllo), suggerendo una possibile "contaminazione" da membri. La distribuzione spaziale di queste stelle ad alta variabilità sembra concentrata ad est dell'ammasso. Osservazioni spettroscopiche saranno necessarie per confermare questi nuovi candidati.

Contemporaneamente è in corso l'analisi dell'osservazione di *Chandra* che contiene circa 400 sorgenti, una frazione significativa delle quali hanno una controparte nell'osservazione di COROT. Si stanno rianalizzando anche le due osservazioni di *Chandra* di archivio in modo consistente per potere produrre un catalogo omogeneo il più completo possibile delle sorgenti X della regione.

Questo lavoro è stato presentato in forma preliminare al *'First COROT International Symposium'* tenutosi a Parigi nel febbraio 2009.

2.1.11 Le corone stellari di età intermedia: il caso di NGC 752

Il declino della luminosità X con l'età stellare è un fenomeno ben noto. In particolare la sua evoluzione è nota in modo dettagliato per età minori di 10^9 anni ($= 1\,$Gyr) grazie alla presenza di ammassi vicini in questo intervallo di età, mentre è poco nota per età più avanzate. Per cercare di estendere questa relazione abbiamo studiato l'emissione X delle stelle di NGC 752 (Giardino et al. 2008, A&A, 495, 899), un'ammasso con età di $\sim 1.9\ 10^9$ anni. Sono state analizzate le osservazioni di *Chandra* ($140\,$ks) e di *XMM-Newton* ($50\,$ks) puntate sull'ammasso. Nelle due esposizioni sono state rivelate rispettivamente 262 e 145 sorgenti. In particolare sono stati rivelati circa il $90\,\%$ dei membri noti dell'ammasso presenti nel campo di *Chandra*. I risultati indicano che all'età di 1.9 Gyr, la luminosità X mediana delle stelle di tipo solare è $L_{\rm X} = 1.3 \cdot 10^{28}\ {\rm erg/s}$, approssimativamente sei volte meno elevata del corrispondente valore nelle più giovani Iadi ($\sim 1\,$Gyr). Poiché la luminosità X è proporzionale al quadrato della velocità rotazionale, la mediana di $L_{\rm X}$ di NGC 752 è consistente, per età superiori a 1 Gyr, a un'evoluzione della velocità rotazionale $v_{\rm rot} \propto t^{-\alpha}$ con $\alpha = 0.75$, più ripida sia della legge di Skumanich ($\alpha = 0.5$) che della relazione

osservata fra le Pleiadi e le Iadi ($\alpha = 0.3$), suggerendo che a circa 1 Gyr avvenga una variazione del regime rotazionale all'interno delle stelle di tipo solare.

2.2 Popolazioni stellari

2.2.1 Il *North Ecliptic Pole survey*

Abbiamo proseguito l'analisi completa del contenuto stellare della survey derivato dal *ROSAT* All Sky Survey (RASS) della regione del polo nord dell'eclittica (North Ecliptic Pole Survey, NEP; Henry et al. 2001, ApJ, 553, L109). Si tratta di una regione di cielo di $9^\circ \times 9^\circ$ centrata sul polo nord dell'eclittica, che è la regione osservata da *ROSAT* con la maggiore sensibilità durante la sua survey completa del cielo. Questa survey è particolarmente interessante perché la sua sensibilità è intermedia fra quella della *Extended Medium Sensitivity Survey* (EMSS) del satellite *Einstein* (Gioia et al. 1990, ApJS, 72, 567), sensibile a flussi $\sim 10^{-13}\,\mathrm{erg/cm^2/s}$ e le osservazioni di *Chandra* e *XMM-Newton* che riescono a raggiungere, anche se su piccole regioni di cielo, una sensibilità due ordini di grandezza migliore. L'EMSS e la maggior parte del RASS rivelano preferenzialmente stelle giovani, mentre le survey di *Chandra* e *XMM-Newton* sono dominate da stelle vecchie. Il NEP è quindi la sola survey che ci permette di studiare le stelle di età intermedia ($10^8 - 10^9$ anni). Il processo di identificazione delle sorgenti X del NEP (Gioia et al. 2003) ha identificato 152 stelle, mentre il nostro modello ne predice 103, indicando che esiste un eccesso significativo ancora a queste età intermedie. L'eccesso è concentrato fra le stelle G e K, cioè le stelle gialle.

Allo scopo di caratterizzare il campione stellare del NEP e capire l'origine dell'eccesso osservato, abbiamo condotto una campagna osservativa utilizzando il *Nordic Optical Telescope* (NOT) sull'isola di La Palma per completare la classificazione spettrale delle controparti ottiche delle sorgenti X (Micela et al. 2007, A&A, 461, 977). Sono stati inoltre ottenuti spettri ad alta risoluzione per un campione di 56 stelle del NEP, con il SARG del TNG per determinare le proprietà delle stelle rivelate in termini di rotazione, abbondanze chimiche e in particolare l'abbondanza di litio. I risultati ottenuti dalla misura della velocità rotazionale e dell'abbondanza di litio (Affer et al. 2008, A&A, 483, 801) confermano che l'eccesso di stelle gialle osservate è composto prevalentemente da stelle giovani (con età paragonabili a quelle delle Pleiadi). La maggior parte delle stelle osservate è compatibile con una popolazione giovane o di età intermedia (minore di $4 \cdot 10^9$ anni) come mostrato in Fig. 12. I dati suggeriscono un incremento di eventi di formazione stellare nell'intorno solare di un fattore circa 4 negli ultimi 10^8 anni, mentre sono consistenti con un tasso di formazione stellare costante ad età intermedie e vecchie, tra $10^8 - 10^{10}$ anni. Con i dati a nostra disposizione non possiamo al momento escludere che una piccola frazione delle sorgenti osservate (tra i rotatori veloci di tipo spettrale K) sia costituita da sistemi binari vecchi caratterizzati da una stretta interazione mareale.

2.2.2 La popolazione stellare nei *Moving Groups*

Le associazioni e i *moving groups* di stelle giovani sono dei laboratori eccellenti per studiare la formazione stellare nell'intorno solare. Lavori precedenti hanno mostrato che le liste dei possibili membri, presenti in letteratura, contengono una frazione non trascurabile di stelle vecchie di sequenza principale. Abbiamo quindi intrapreso uno studio dettagliato di questi campioni, in particolare per quanto riguarda l'Associazione Locale, il *moving group* più numeroso nelle vicinanze del Sole. L'obiettivo dei nostri studi è di separare le stelle giovani da quelle più vecchie con moti spaziali simili, allo scopo di identificare l'origine e la natura di queste strutture (Lopez-Santiago, Micela & Montes 2009, A&A, 499, 129). Abbiamo quindi usato come punto di partenza le liste dei possibili membri dei moving groups giovani (età compresa fra 10 e 650 Myr) presenti in letteratura. Per essi abbiamo determinato l'età utilizzando diversi indicatori, come
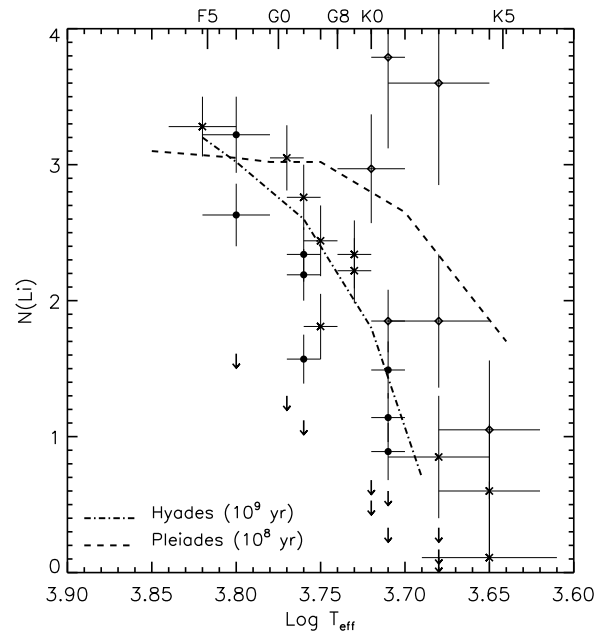
Figura 12: Abbondanze di litio per le stelle del NEP in funzione delle temperature efficaci: i vari simboli si riferiscono rispettivamente a stelle con valori di velocità rotazionale: $v \sin i$ maggiori di quelli delle Pleiadi (rombi); $v \sin i$ compresi tra le velocità medie delle Pleiadi e delle Iadi (crocette); $v \sin i$ compresi tra le velocità medie delle Iadi e delle stelle di campo (cerchi). Le frecce indicano gli *upper limits* delle abbondanze di litio, e le curve tratteggiate riproducono i *fits* per le Pleiadi e le Iadi, ottenuti da Favata et al (1993).

l'emissione X dal RASS e i dati fotometrici dai cataloghi di *Tycho-2*, *Hipparcos* e 2 MASS. Abbiamo usato anche l'ampiezza equivalente della riga del litio a 6707.8 Å e l'Hα come indicatori di età giovane.

Combinando i dati fotometrici e spettroscopici abbiamo separato le stelle giovani ($10 - 650$ Myr) da quelle di campo più vecchie (> 1 Gyr). In questo modo abbiamo verificato che il campione dell'Associazione Locale è contaminato da stelle di campo vecchie al livello del 30%. Per gli altri *moving groups* la stima della contaminazione è molto più difficile. Comunque il livello dell'emissione X permette di separare almeno due differenti popolazioni: stelle con età minori di 200 Myr e stelle più vecchie. Questo studio ha permesso di concludere che tra i candidati dei più noti moving groups c'è una frazione non trascurabile di stelle di campo vecchie che non può essere ignorata nello studio della formazione stellare nell'intorno solare. I risultati sono consistenti con uno scenario in cui i moving groups contengono sia stelle giovani formatesi durante un recente episodio di formazione stellare, che stelle di campo vecchie con moti spaziali simili. La combinazione dei dati X e di quelli spettroscopici ottici si è rivelata necessaria per potere distinguere fra queste due popolazioni.

2.2.3 Variabilità stellare con COROT

Nell'ambito dello studio delle stelle giovani dell'intorno solare, è in atto una collaborazione tra un gruppo di ricerca dell'OAPa, ricercatori di ESA (F. Favata, P.I. del progetto) e dell'University of Exeter (S. Aigrain) per l'analisi delle curve di luce prodotte dal telescopio spaziale montato sul satellite COROT (vedi Sez. 2.1.10 per una descrizione della missione COROT). Il nostro lavoro è basato su un programma addizionale approvato dal *team* di COROT, e in particolare sullo studio della variabilità ottica di stelle di

campo di tipo solare. Il grande numero di curve di luce a nostra disposizione (più di 10.000), permette di studiare campioni di stelle statisticamente rappresentativi, e le zone di cielo campionate potrebbero, su una scala più vasta, essere considerate come *template* rappresentativi dell'intorno solare. Abbiamo analizzato diverse migliaia di stelle di sequenza principale, con magnitudine V compresa tra 12 e 16.5, selezionate e osservate durante la missione spaziale COROT nel piano Galattico, sia verso il centro che verso l'anticentro della Galassia. Il primo obiettivo dello studio è di derivare la distribuzione dei periodi di rotazione di un campione significativo e *unbiased* di stelle di sequenza principale in vari stadi di evoluzione, per delineare una distribuzione in età della componente più giovane di questa popolazione. Infatti, dal momento che la rotazione stellare decresce con la sua età, la distribuzione dei periodi rotazionali rifletterà in qualche misura anche la loro distribuzione in età. Tracciando la variabilità periodica dovuta alla rotazione delle macchie presenti sulla superficie delle stelle è possibile individuare rotatori veloci, con brevi periodi di rotazione che possono essere indicativi di: 1) Stelle giovani, dato che la rotazione diminuisce con l'età della stella. In stelle di tipo solare, la perdita di momento angolare porta al rallentamento della velocità di rotazione, quantificato da Skumanich (1972) in termini di proiezione della velocità di rotazione lungo la linea di vista $v \sin i \propto \mathrm{age}^{-0.5}$ (noi abbiamo utilizzato le relazioni di giro-cronologia di Barnes (2007) e Mamajek & Hillenbrand (2008), che sono una versione dipendente dal colore della ben più nota legge di Skumanich); 2) Sistemi binari, infatti le stelle binarie a breve periodo possono mantenere elevati livelli di rotazione a causa delle interazioni mareali. Le interazioni mareali tra stelle binarie sincronizzano la rotazione con il periodo orbitale, se la separazione tra le componenti non è troppo grande. In generale ciò significa che la velocità di rotazione sarà sostanzialmente più elevata rispetto a stelle singole dello stesso tipo spettrale e della stessa età. Dall'analisi dei dati, con la determinazione dei periodi di rotazione, della loro significatività e delle relative distribuzioni, risulta una percentuale del 20% del campione totale con periodi di rotazione inferiori a 15 giorni (Affer et al., in preparazione). Tali periodi sono più brevi dei valori tipici per una popolazione di stelle vecchie e singole. Sono probabilmente dominate da stelle giovani, con età al più $\sim 10^9$ anni. Un'altra possibilità è che sia una componente significativa di stelle binarie vecchie con interazioni mareali, che hanno mantenuto alti livelli di rotazione. I risultati preliminari di questo lavoro sono stati presentati al *"Second COROT CO-Is and GIs Meeting", Parigi 30 Maggio 2008* (presentazione orale), al *"Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun - The 15th Cambridge Workshop", St. Andrews, Scozia 21–25 Luglio 2008* (poster), al *"First COROT International Symposium", Parigi, 2–5 Febbraio 2009* (presentazione orale), e nella tesi di dottorato *"The young stellar population in the solar neighbourhood"*, L. Affer, 2009.

2.3 L'ambiente circumstellare: dischi, accrescimento, getti e campi magnetici

2.3.1 Polarimetria nel sub-mm, e campi magnetici in protostelle di Classe 0-I

Lo strumento SCUPOL, polarimetro per SCUBA al James Clerk Maxwell Telescope (JCMT) su Hawaii, è stato finora il più produttivo polarimetro per immagini di emissione termica. Tra il 1997 e il 2005, 104 regioni sono state osservate a $850\,\mu$m in modo "mapping". La polarimetria con SCUBA è particolarmente sensibile a dettagli nel processo di riduzione dei dati (p.es. dimensioni ottimali dei pixel per creare immagini dalla matrice dei bolometri, o la selezione dei bolometri per la sottrazione del fondo cielo), e dunque alcuni ricercatori con partecipazione di OAPa hanno sistematicamente ri-ridotto tutti i dati polarimetrici ad immagini ottenuti nel modo *standard "jiggle-map"* esistenti nell'archivio SCUBA (più di 2800 osservazioni individuali), producendo un catalogo omogeneo di immagini e tabelle di sorgenti SCUPOL. I *data cubes* e tabelle di dati ridotti sono accessibili *on-line*. Le regioni osservate includono: la galassia M87, il centro Galattico, SgrA*, il resto di supernova della Crab, la nebulosa planetaria NGC 6302, vari *Bok globules*, YSOs individuali, regioni di formazione stellare, *cores* protostellari o senza stelle, ecc. (Matthews et al., 2009, ApJS, 182, 143)

Uno degli aspetti più importanti ancora da capire del processo di formazione stellare riguarda il ruolo del campo magnetico. Attualmente, uno tra i migliori metodi di studiare il campo magnetico su scale dell'ordine degli inviluppi attorno alle protostelle fa uso di polarimetria ad immagini nella banda sub-millimetrica. I grani di polvere fredda ($T \sim 10-20$ K) si allineano al campo magnetico, con l'asse minore parallelo alle linee di campo. Questi grani emettono radiazione termica nel sub-millimetrico, e quindi la polarimetria a $850\,\mu$m permette di osservare la componente del campo magnetico normale alla linea di vista. Ricercatori di OAPa hanno usato questa tecnica per mappare la morfologia del campo magnetico normale alla linea di vista in un campione di 9 YSOs di Classe 0/I nelle regioni di formazione stellare di Perseus e di Taurus-Auriga. Attualmente, questi oggetti costituiscono il campione più ricco studiato con questo metodo. I risultati indicano varie morfologie di campo magnetico: HH 211 mostra forte gradi di polarizzazione e una struttura da campo ordinata; altre sorgenti come L 1527 e NGC 1333 mostrano una configurazione del campo più caotica, indicante campi più deboli. Un confronto tra le direzioni del campo magnetico e quelle di getti o *outflows* mostra un allineamento (proiettato sul cielo) in 4 regioni su 8 (Curran and Chrysostomou, in preparazione).

2.3.2 Attività X e campi magnetici su stelle Herbig Ae/Be

La rivelazione in raggi X di stelle di massa intermedia è fino ad ora uno dei problemi insoluti dell'astrofisica stellare nei raggi X perché nessuna delle teorie esistenti riesce a spiegarne l'esistenza: mentre l'emissione X da stelle più massicce è dovuta alla presenza di instabilità nel vento, nelle stelle meno massicce l'emissione è il risultato di un processo di dinamo. Le stelle di massa intermedia non hanno venti abbastanza intensi da produrre emissione X e d'altra parte non hanno regioni di convezione, necessarie per innescare il processo di dinamo. Spesso, in mancanza di altri possibili meccanismi, l'emissione X di stelle di massa intermedia viene attribuita alla presenza di stelle compagne meno massicce. In effetti, una gran parte delle compagne identificate nella banda infrarossa tramite ottica adattiva mostrano separazioni di pochi arco-secondi, e perciò sono *target* ideali di campagne osservative con *Chandra*, l'unico strumento X che riesce a risolverle spazialmente.

Il problema dell'origine dell'emissione X riguarda stelle di massa intermedia in diversi stati evolutivi, sia sulla pre-sequenza principale, cioè le cosidette stelle Herbig Ae/Be (HAeBe), sia sulla sequenza principale. Avendo studiato in passato il problema delle stelle sulla sequenza principale, recentemente ci siamo dedicati alle stelle HAeBe. In uno studio precedente basato su dati dell'archivio di *Chandra* avevamo trovato che in più della metà delle stelle HAeBe l'emissione X poteva essere attribuita a compagne fredde (Stelzer et al. 2006, A&A, 457, 233). Abbiamo ottenuto osservazioni X di un nuovo campione di stelle HAeBe selezionato specificamente per la presenza di compagne fredde risolvibili con *Chandra*. Dall'analisi di queste 9 stelle emerge un tasso di rivelazione del 100 % per le primarie di tipo HAeBe (Stelzer et al. 2009, A&A, 493, 1109). Ciò indica o una molteplicità molto elevata o l'esistenza di emissione X intrinseca alle stelle di massa intermedia (almeno in giovane età, durante la fase di pre-sequenza principale). Nella prima ipotesi, siccome tutte le stelle del campione sono già conosciute come binarie, attribuire l'emissione X a delle compagne significa che in tutti i casi si tratterebbe di sistemi tripli.

La presenza di emissione X intrinseca dalle stelle HAeBe implicherebbe la presenza di campi magnetici. Infatti, campi magnetici sono ad oggi stati rivelati in circa 20 stelle di tipo HAeBe. In genere, i campi delle HAeBe sono più deboli di quelli delle stelle T Tauri (~ 100 G per le HAeBe vs. $\sim 1-3$ kG per le T Tauri) e al limite di sensibilità delle tecniche osservative. Una collaborazione internazionale guidata da S.Hubrig dall'ESO e con partecipazione di OAPa ha presentato il primo studio delle correlazioni tra campo magnetico ed altre caratteristiche delle HAeBe (Hubrig et al. 2009, A&A, in stampa). Risulta che le stelle HAeBe obbediscono alla legge di potenza universale tra flusso magnetico e luminosità X derivato per il Sole e le nane di sequenza principale. Quindi, è possibile che lo stesso mechanismo, cioè una dina-

mo, sia responsabile per i due fenomeni nelle diverse classi di stelle. Le intensità dei campi osservati sulle stelle HAeBe sono compatibili con la predizione di modelli di accrescimento magnetico. Sia l'intensità dei campi magnetici sia la luminosità X diminuiscono con l'età delle HAeBe (tra $1-10$ Myr), suggerendo una dinamo che si indebolisce nel tempo come p.es. la *shear dynamo* di Tout & Pringle (1995, MNRAS, 272, 528) che si basa sull'energia rotazionale della stella. Tuttavia, il nostro campione non mostra nessuna evidente correlazione tra campo magnetico e periodo di rotazione.

2.3.3 Diagnostiche multi-banda di accrescimento in un campione di CTTS selezionato in raggi X

Le stelle giovani sono ben note per la loro forte emissione in raggi X attribuita a processi coronali. Tuttavia recenti osservazioni spettroscopiche in raggi X hanno mostrato la presenza di "eccessi" di emissione da plasma relativamente freddo e di alta densità che non appartiene alla corona. È stato proposto invece che questa emissione *soft* provenga dalla regione della fronte d'urto (*shock*) di accrescimento. In questa teoria, il materiale in accrescimento cade con velocità di caduta libera, e quando urta la superficie stellare crea uno *shock* e viene riscaldato ad una temperatura di circa 3 milioni di K; successivamente si raffredda per irraggiamento, emettendo raggi X. Questa interpretazione è rafforzata dal fatto che l'eccesso di emissione di raggi X soffici si osserva soltanto in stelle molto giovani con accrescimento, ed è ulteriormente sostenuta da modelli idrodinamici dettagliati dell'interazione tra il flusso in accrescimento e la cromosfera stellare (Sacco et al. 2008, A&A, 491, L17). Il confronto tra gli spettri in raggi X predetti dai modelli e quelli osservati è in accordo con il quadro descritto. Tuttavia, i tassi di accrescimento di massa dedotti dai dati in raggi X sono più bassi di quelli derivati dagli studi ottici/UV/infrarossi per le tre stelle studiate finora in letteratura. Va detto che i tassi di accrescimento ottici/UV/infrarossi per queste tre stelle sono stati ottenuti con metodi disomogenei. Ricercatori di OAPa stanno studiando se esiste una correlazione tra i tassi di accrescimento derivati da studi ottici/UV/infrarossi e dallo studio in raggi X, utilizzando un campione di tutte le stelle di tipo classiche T Tauri finora osservate spettroscopicamente in raggi X ad alta risoluzione (TW Hya, RU Lup, Hen 3-600, MP Mus, T Tau, BP Tau, V4046 Sgr, V2129 Oph), e confrontando i tassi dedotti dai raggi X con numerosi traccianti di accrescimento in ottico e vicino infrarosso. Risultati preliminari indicano che una correlazione è presente, ma il fatto che il tasso di accrescimento dedotto tramite raggi X risulti sottostimato rimane ancora inspiegato (Curran et al., in preparazione).

2.3.4 Influenza dell'emissione X stellare sull'accrescimento circumstellare

È oramai appurato che l'emissione X delle stelle T Tauri che accrescono (T Tauri classiche oppure Classe II) è sistematicamente meno intensa rispetto a quella delle stelle T Tauri che non accrescono (weak-line T Tauri oppure Classe III). Non esiste, ad oggi, una spiegazione accettata di questo effetto anche se è stato suggerito che l'accrescimento in qualche modo sopprima oppure oscuri l'attività X coronale. In collaborazione con J. Drake (CfA) e B. Ercolano (Cambridge) abbiamo avanzato una nuova ipotesi di segno opposto: che i raggi X coronali modulino il flusso di accrescimento (Drake et al. 2009, ApJ, 699, L35). Abbiamo ri-esaminato le luminosità X delle stelle T Tauri della nebulosa di Orione in base ai dati di COUP a abbiamo trovato che, non soltanto le stelle in accrescimento sono sistematicamente più deboli, ma che esiste una anti-correlazione tra tasso di accrescimento e luminosità X stellare. Abbiamo quindi utilizzato i modelli di dischi circumstellari riscaldati dai raggi X (Ercolano et al. 2008, ApJ, 688, 398) per mostrare che i tassi di foto-evaporazione dei dischi dipendono fortemente dalla luminosità X stellare e sono sufficientemente alti da essere in competizione con i tassi di accrescimento. Il riscaldamento da parte dei raggi X appare quindi come un possibile meccanismo per la modulazione del flusso di accrescimento e potrebbe essere, almeno in parte, responsabile per la correlazione osservata tra tassi di accrescimento e luminosità X delle stelle T Tauri.
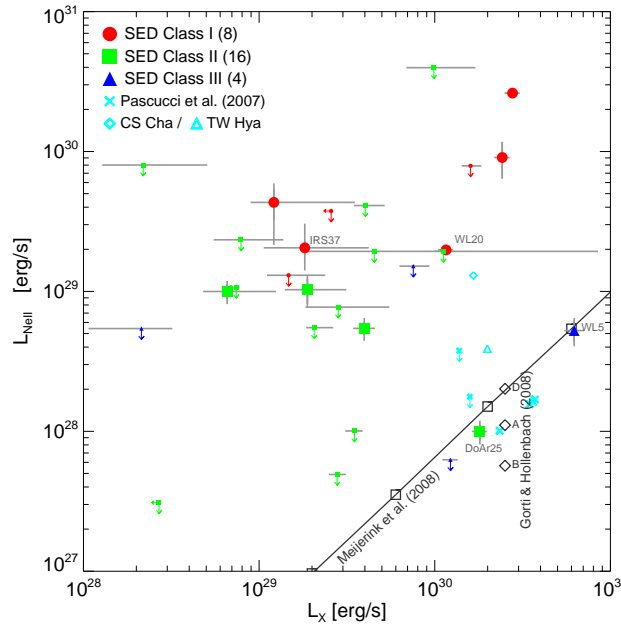
Figura 13: Luminosità della riga del [Ne II] in funzione della luminosità X. Gli oggetti di Classe I, II, e III sono indicati con simboli di colore differente come indicato nella legenda. Sono anche mostrate le posizioni di sei stelle T Tauri studiate da Pascucci et al. (2007) e di due (CS Cha e TW Hya) studiate da Espaillat et al. (2007). Le predizioni teoriche di Meijerink et al. (2008) sono indicate da una linea diagonale; quelle di Gorti & Hollenbach (2008), per i loro modelli 'A', 'B', e 'D', da rombi. Figura tratta da Flaccomio et al. (2009, in stampa).

2.3.5 Emissione X e [Ne II] in stelle di ρ Ophiuchi

Le righe di struttura fine del [Ne II] e del [Ne III], nell'infrarosso a $12.81\,\mu$m e $15.55\,\mu$m, sono, in base a calcoli teorici, dei buoni traccianti del gas del disco circumstellare soggetto a riscaldamento e ionizzazione da parte dei raggi X stellari. Abbiamo investigato l'origine di queste righe spettrali confrontando osservazioni delle stesse con i risultati di modelli di dischi irradiati da raggi X e, inoltre, ricercando correlazioni empiriche tra le luminosità delle righe e parametri stellari e circumstellari (Flaccomio et al. 2009, in stampa). A tale scopo abbiamo misurato i flussi delle righe del Neon e le luminosità X di 28 YSOs appartenenti alla regione di formazione stellare di ρ Oph e per cui erano disponibili spettri infrarossi e dati nei raggi X di buona qualità: Gli spettri infrarossi sono stati ottenuti con lo spettrografo IRS a bordo di *Spitzer* e i dati X con il telescopio *XMM-Newton* nell'ambito di DROXO (vedi Sez. 2.1.3).

Abbiamo rivelato le righe del [Ne II] e del [Ne III] in 10 ed un caso, rispettivamente. Le luminosità delle righe non mostrano alcuna correlazione con l'emissione nei raggi X. La luminosità della riga del [Ne II] per una stella, e quella di entrambe le righe per una seconda stella, sono in accordo con le predizioni dei modelli pubblicati di dischi irradiati da raggi X; per i rimanenti 8 oggetti l'emissione nel [Ne II] e $1-3$ dex più intensa di quanto predetto in base al loro L_X (vedi Fig. 13). Gli oggetti di Classe I mostrano righe del [Ne II] significativamente più forti rispetto agli oggetti più evoluti di Classe II e III. Inoltre troviamo una correlazione tra l'emissione del [Ne II] e i tassi di accrescimento dal disco circumstellare. Questo potrebbe indicare che l'emissione UV dovuta all'accrescimento ha un ruolo nella generazione delle righe di struttura fine del Neon. Alternativamente altri meccanismi, legati all'accrescimento di massa (da disco e da envelope) e/o agli *outflows* a questi associati (venti e getti), potrebbero esserne responsabili. Concludiamo che la luminosità X non è l'unico parametro che determina l'emissione nel [Ne II]. Per spiegare la
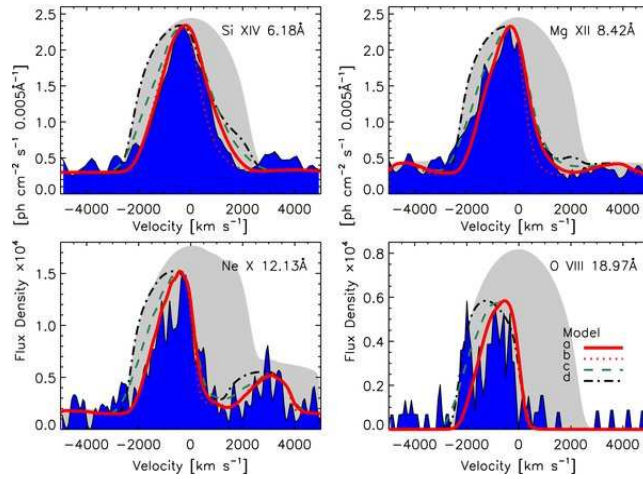
Figura 14: Profili di riga osservati con *Chandra*/HETG 13.9 giorni dopo l'outburst del 2006 di RS Oph (tratto da Drake et al. 2009, ApJ, 691, 418). Si confronti questa figura con la Fig. 25 della Sez. 2.5.5 che riporta i profili di riga sintetizzati dal modello idrodinamico 3D.

forte emissione nel [Ne II] degli oggetti di Classe I bisognerà probabilmente includere nei modelli ulteriori componenti fisiche come gli envelope, l'accrescimento e la perdita di massa.

Da un punto di vista osservativo informazioni importanti sulla formazione della riga del [Ne II] possono venire dai profili della riga, non accessibili con i dati di *Spitzer* a causa della loro bassa risoluzione spettrale ma osservabili dai grandi telescopi terrestri con recenti spettrografi ad alta risoluzione. Abbiamo quindi proposto l'osservazione di 9 dei 10 degli oggetti di ρ Ophiuchi in cui la riga è stata rivelata con VISIR@VLT. La proposta è andata a buon fine e le osservazioni sono state condotte nel Giugno 2009. L'analisi dei dati è in corso.

2.3.6 RS Oph

RS Oph è un sistema binario costituito da una nana bianca che accresce la sua massa dal vento della compagna gigante rossa. RS Oph è una nova ricorrente con un periodo di circa 20 anni che ha prodotto il suo ultimo *outburst* nel febbraio del 2006. In occasione di tale *outburst*, è stata avviata una estesa campagna osservativa internazionale multi-banda che ha monitorato l'evoluzione della nova sin dalle prime fasi evolutive. In particolare, nella banda X l'*outburst* è stato osservato con lo strumento HETG a bordo di *Chandra* e le osservazioni sono state analizzate da un team di ricerca internazionale di cui fa parte l'OAPa (Drake et al. 2009, ApJ, 691, 418).

Le osservazioni *Chandra*/HETG 13.9 giorni dopo l'outburst del 2006 hanno rivelato un ricco spettro di righe di emissione attribuibile a plasma con una distribuzione di temperature tra 3 e 60 MK. Tale spettro suggerisce il riscaldamento del mezzo circumstellare a causa dello *shock* dell'onda d'urto che si propaga nel mezzo a seguito dell'*outburst*. Le righe di emissione risultano asimmetriche e spostate verso il blu per effetto Doppler (vedi Fig. 14). Drake et al. (2009, ApJ, 700, L16) suggeriscono che la forma delle righe è dovuta ad assorbimento differenziale dell'emissione X dovuto al mezzo circumstellare *post-shock* ed al materiale espulso durante l'*outburst* (ejecta). Inoltre, la forma piccata delle righe può essere spiegata se il materiale *post-shock* ha subito una collimazione in direzione perpendicolare alla linea di vista. Si può concludere che la natura fortemente asimmetrica del mezzo circumstellare in cui avviene l'esplosione è responsabile sia della collimazione dello *shock* che dell'ampio intervallo di temperature del plasma emittente. Lo studio modellistico successivo (Orlando, Drake & Laming 2009, A&A, 493, 1049)
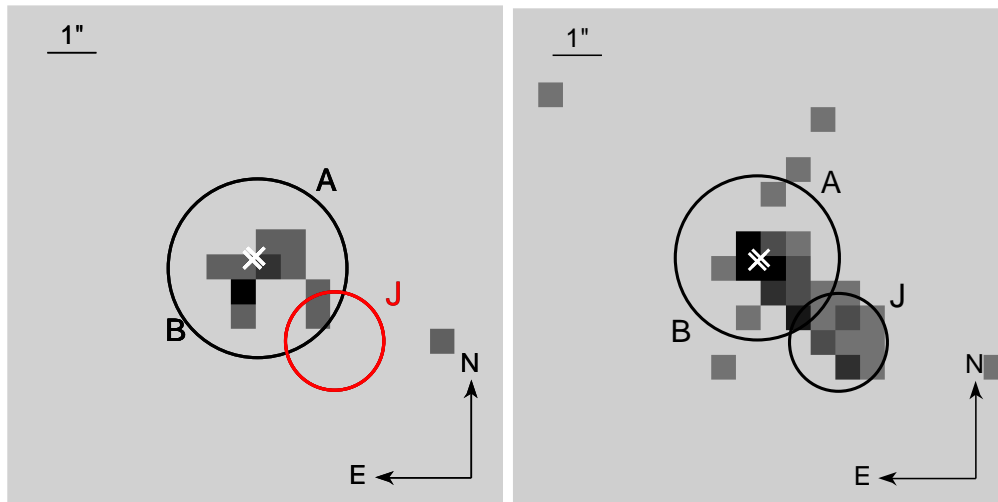
Figura 15: Immagini di *Chandra*/ACIS-S di Z CMa ottenute nel 2003 (sinistra) e nel 2008 (destra). La posizione ottica/infrarossa della binaria è indicata dalle crocette bianche, le sorgenti X sono rappresentate da cerchi neri ed il cerchio rosso indica la posizione della sorgente 'J' (getto) nell'immagine del 2003; figure tratte da Stelzer et al. (2009, A&A, 499, 529).

ha consentito di comprendere a pieno l'origine delle asimmetrie ed allargamento delle righe osservate con *Chandra*/HETG (si veda la Sez. 2.5.5).

2.3.7 Rivelazioni in raggi X del getto di Z CMa

Z CMa è una binaria composta da due stelle giovani di massa intermedia di cui una componente è nascosta in un'inviluppo ed è invisibile nella banda ottica e l'altra componente è di tipo FU Ori. La caratteristica del fenomeno FU Ori è un brillamento estremo sia in termini di aumento di luminosità ottica (circa $4-6$ mag) che in termini di durata (diversi anni o decadi). Tali eventi sono attribuiti a una fase di forte accrescimento e si ipotizza che avvengano un paio di volte durante l'evoluzione delle stelle giovani.

Nel febbraio 2008 Z CMa ha subito un FU Ori *outburst*, e da allora l'oggetto è rimasto a livelli alti di intensità. A dicembre 2008 i ricercatori di OAPa hanno chiesto un'osservazione con *Chandra* in *Director's Discretionary Time* allo scopo di confrontare l'emissione X attuale di Z CMa con l'emissione X durante la fase quiescente (rappresentata da un'osservazione del 2003 ottenuta dall'archivio di *Chandra*). Il confronto tra le due osservazioni ha portato a due risultati sorprendenti (Stelzer et al. 2009, A&A, 499, 529): (1) Z CMa non dimostra variabilità della sua emissione X, quindi il forte cambiamento del tasso di accrescimento legato all'evento FU Ori non sembra influenzare l'emissione coronale; (2) Una sorgente debole separata di circa $2''$ da Z CMa è apparsa nel 2008 (vedi Fig. 15). L'angolo di posizione di questa sorgente corrisponde a quello del getto ottico scoperto da Poetzel et al. (1989). L'emissione X è soffice, come predetto dai modelli di emissione X dei getti che legano la temperatura X alla velocità dello *shock* che si forma nel momento dell'impatto del getto con il mezzo ambiente. L'assenza di emissione X nell'immagine ottenuta sei anni prima possibilmente indica che la perdita di massa che costituisce il getto non è continua nel tempo. Finora meno di 10 getti protostellari sono stati rivelati in raggi X. Tra essi Z CMa rappresenta la stella più massiccia e la posizione dell'emissione X identificata con il getto risulta la più distante (2000 AU dalla stella).
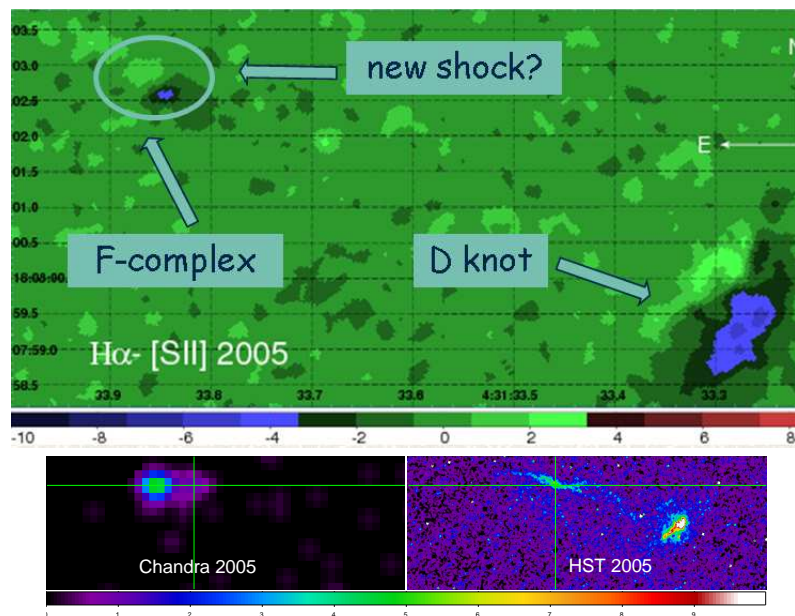
Figura 16: *Pannello superiore* – Immagine differenza H_α - [SII] del getto HH 154 osservato con HST nel 2005; *Pannello inferiore* – Confronto tra la posizione della sorgente X osservata con *Chandra* e le *working surface* terminale ed interna osservate in ottico con HST. Figure tratte da Bonito et al. (2008, A&A, 484, 389).

2.3.8 La complessa morfologia del getto protostellare HH 154

Il getto HH 154 proviene dalla protostella binaria L 1551 IRS 5 nel Toro. È uno dei getti protostellari più vicini (~ 150 pc) e quindi rappresenta un elemento importante per lo studio dettagliato di questo fenomeno. Osservazioni ad alta risoluzione spaziale nella banda X ottenute con *Chandra* nel 2001 e nel 2005 hanno rivelato una morfologia complessa (Favata et al. 2006, A&A, 450, L17): una sorgente luminosa, puntiforme e stazionaria (almeno sulla base temporale di circa 4 anni tra le due osservazioni) alla base del getto ed una sorgente allungata che mostra moto proprio. L'importanza di tali risultati risiede sia nel fatto che questa rappresenta la prima e finora unica evidenza di moto proprio di una sorgente X osservata in un getto protostellare che nell'accordo tra la previsione del modello proposto dal nostro gruppo sul valore di velocità della sorgente X e l'osservazione (500 km/s; Bonito et al. 2007, A&A, 462, 645).

Allo scopo di esaminare il moto proprio dei nodi con maggiore dettaglio, abbiamo condotto, in collaborazione con il Dott. F. Favata ed il Dott. M. Fridlund dell'ESA, l'analisi di osservazioni di HH 154 ottenute con *Hubble Space Telescope* (HST). Tali osservazioni sono state realizzate in tre diverse epoche (1996, 1998, 2005) costituendo una base temporale di circa 9 anni che permette di valutare la variazione morfologica delle strutture all'interno del getto.

Nel pannello superiore di Fig. 16 mostriamo le osservazioni del getto HH 154 effettuate con HST, in particolare la differenza tra i due filtri utilizzati, H_α e [SII]. Si riconosce la cosiddetta *terminal working surface* (il nodo D alla testa del getto) ed il complesso F alla base del getto. In Bonito et al. (2008, A&A, 484, 389) abbiamo suggerito la presenza di un nuovo *shock* formatosi nel 2005 alla base del getto, che presenta la stessa stratificazione dell'emissione H_α ed [SII] simile a quella osservata nella *terminal working surface*, pertanto possiamo ipotizzare che è possibile identificare questa struttura come una *internal working surface*. Cosa ancor più importante, questa struttura coincide con la posizione della sorgente X (si veda il pannello inferiore di Fig. 16). Quindi le osservazioni multi-banda del getto HH 154 condotte

nel 2005 dal nostro gruppo mostrano delle caratteristiche nuove delle sorgenti X osservate in getti protostellari: L'emissione X (1) è posizionata alla base del getto ottico, (2) mostra una morfologia complessa e (3) mostra una variabilità su tempi scala molto brevi (dell'ordine di pochi anni). Al fine di spiegare queste caratteristiche osservate Bonito et al. (2009, in preparazione) hanno sviluppato un modello numerico di getto pulsato descritto in Sez. 2.5.4

2.3.9 Emissione X diffusa attorno a stelle massicce: η Carinae e WR25

Sono state studiate le caratteristiche dell'emissione X proveniente da due sorgenti massicce, appartenenti all'ammasso Trumpler 16, η Carinae e WR 25. La prima è una *Luminous Blue Variable*, la seconda è una stella Wolf-Rayet. In particolare l'analisi svolta si è concentrata sullo studio della componente diffusa attorno a queste sorgenti. Utilizzando un'osservazione nella banda X, ad alta risoluzione spaziale, ottenuta con *Chandra*/ACIS-I, sono state individuate le sorgenti estese comprese nel campo di vista dell'immagine X e sono state indagate le proprietà morfologiche e spettrali della loro emissione X diffusa. Le prime sono state messe in evidenza calcolando i profili radiali di ciascuna sorgente estesa: le emissioni di entrambe le sorgenti X diffuse mostrano asimmetrie significative, ossia picchi di emissione, a distanze differenti nelle diverse direzioni. Le seconde sono state rivelate effettuando fit spettrali sugli spettri delle sorgenti estese: le emissioni di ciascuna sorgente considerata risultano costituite da componenti termiche e componenti non termiche. Quest'ultime, presenti solo nel caso di WR25, rivelano la presenza di processi di emissione ad alta energia (Ballerini et al., in preparazione).

2.4 Fisica delle corone stellari

2.4.1 Confronto di abbondanze fotosferiche e coronali in binarie attive

Il confronto delle abbondanze fotosferiche e coronali nelle stelle di tipo solare è necessario per potere discriminare sul problema della stratificazione degli elementi nelle corone stellari. Nel caso solare è stato osservato in corona un aumento degli elementi con basso potenziale di prima ionizzazione (effetto FIP; *First Ionization Potential*) rispetto alla fotosfera. Le stelle molto attive sembrano mostrare invece una diminuzione di questi elementi ("effetto FIP inverso"). Quest'ultimo risultato non è comunque consolidato per il limitato numero di stelle attive per cui le abbondanze fotosferiche sono note. Per progredire in questo campo abbiamo determinato le abbondanze fotosferiche e coronali di due ben noti sistemi binari attivi, AR Psc e AY Cet. In particolare sono state determinate le abbondanze coronali di 9 elementi attraverso la riscostruzione della distribuzione di misura di emissione, usando un metodo basato sulle singole righe spettrali separatamente per ogni elemento. Per derivare le abbondanze fotosferiche di 8 elementi sono stati analizzati spettri ottici ad alta risoluzione. I risultati mostrano che nelle stelle in esame non si osserva l'effetto FIP osservato nel Sole, ma che al contrario le abbondanze misurate in corona e in fotosfera sono consistenti fra di loro. L'analisi svolta mostra la necessità di misurare in dettaglio le abbondanze fotosferiche delle stelle attive. I risultati di questo lavoro sono soggetto di un articolo in corso di stampa su Astronomy & Astrophysics (Sanz-Forcada, Affer & Micela, 2009)

2.4.2 Abbondanze coronali della binaria EQ Peg

Le stelle di tipo spettrale M sono caratterizzate prevalentemente da luminosità in raggi X dell'ordine di 1/1000 della loro luminosità bolometrica, ovvero rientrano in quello che viene chiamato "regime di saturazione" dell'attività coronale, dove il livello di emissione X risulta indipendente dal periodo di rotazione della stella. Le stelle dei primi tipi spettrali M (M1-M5) sono anche note per i frequenti brillamenti e per l'effetto FIP inverso (vedi anche Sez. 2.4.1).

In questo contesto è stato condotto uno studio sulle proprietà delle corone delle due componenti del sistema binario EQ Peg, aventi tipo spettrale M3.5 e M4.5 (Liefke et al. 2008, A&A, 491, 859). Questo oggetto è stato osservato con il satellite *Chandra* ed è stato possibile ottenere spettri X ad alta risoluzione, separatamente per le due componenti, che hanno consentito di derivare la misura di emissione in funzione della temperatura del plasma coronale e le sue abbondanze chimiche. L'analisi ha mostrato che la primaria del sistema è più luminosa della secondaria di un fattore $6 - 10$ ed ha un andamento delle abbondanze coronali caratterizzato da effetto FIP inverso più accentuato che nella secondaria, se si confrontano le due componenti in fase quiescente. In conclusione, lo studio suggerisce che l'ampiezza dell'effetto FIP inverso sia legata al livello di emissione X quiescente anche nel caso di stelle di piccola massa, anche se le abbondanze coronali restano sempre significativamente diverse da quelle solari, almeno fino a stelle di tipo spettrale M5.

2.4.3 Statistica dei brillamenti stellari

In analogia con la ben nota teoria del riscaldamento da micro-brillamenti, formulata con la corona solare, si sta indagando la possibilità che gran parte dell'emissione in banda X delle stelle giovani sia riconducibile a brillamenti. Infatti, studi di variabilità nella banda X soffice ($0.5 - 8.0$ keV) condotti da ricercatori OAPa su diverse regioni di formazione stellare (Ammasso della Nebulosa di Orione, Toro, Cyg OB2) hanno mostrato che la distribuzione dei brillamenti è compatibile con l'ipotesi che la corona sia riscaldata da una sovrapposizione di brillamenti di diversa intensità, distribuiti secondo una legge di potenza. Una possibile diagnostica per verificare tale ipotesi è quella di misurare l'emissione non-termica nella banda dei raggi X duri (> 20 keV), dove la luminosità stellare è dovuta principalmente ai brillamenti. Partendo da una relazione empirica tra la luminosità di picco dei brillamenti tra le bande $0.5 - 8.0$ keV e $20 - 40$ keV (Isola et al. 2007, A&A, 472, 261) e ipotizzando che l'emissione coronale sia dovuta unicamente a brillamenti è stata ricavata una relazione che lega la luminosità X totale della stella nelle due bande (Caramazza et al. 2009, in stampa). Cyg OB2 è l'unica regione di formazione stellare per cui esiste una misura della luminosità in banda dura, effettuata da De Becker e collaboratori nel 2007, tramite il satellite *INTEGRAL*. Da un confronto della luminosità totale misurata per le stelle di piccola massa di Cyg OB2, con quella ricavata dalla relazione descritta in Caramazza et al. (2009), si può concludere che un contributo non trascurabile dell'emissione di Cyg OB2 nella banda dei raggi X duri, potrebbe provenire da brillamenti di stelle di piccola massa, avvalorando così la teoria del riscaldamento coronale da micro-brillamenti.

2.4.4 Modelli dei brillamenti stellari nel dataset di COUP

Nell'ambito del progetto COUP (vedi Sez. 2.1.2) si è intrapreso uno studio sistematico e dettagliato delle proprietà dei brillamenti in raggi X nelle stelle in Orione. Le stelle di pre-sequenza principale producono brillamenti in raggi X estremamente potenti, che ricordano i brillamenti solari dovuti a riconnessione magnetica, ma scalati di circa quattro ordini di grandezza. In queste condizioni non è chiara la struttura delle regioni emittenti, gli eventuali effetti sui dischi protoplanetari e il ruolo della rotazione stellare. Per esplorare questi aspetti sono stati esaminati i 216 brillamenti più intensi, provenienti da 161 stelle givoani in Orione (Getman et al. 2008, ApJ, 688, 437). Questi costituiscono il set di dati il più vasto disponibile di questo genere. Per analizzare questi brillamenti è stata sviluppata una nuova tecnica di analisi spettrale.

È stato quindi possibile esaminare la morfologia dei brillamenti e confrontarla con quelli che avvengono su altre stelle attive e sul Sole. Sono poi state studiate le relazione fra le proprietà dei brillamenti, i dischi protoplanetari e altre proprietà stellari. I brillamenti osservati in Orione sono fra i più potenti, lunghi, caldi e corrispondenti alle strutture più lunghe mai osservati. In generale la luminosità di picco e la temperatura non dipende dalla morfologia dei brillamenti, suggerendo che lo stesso meccanismo fisico sia alla base di tutti i brillamenti. Il confronto con le leggi di scala solari indicano che i brillamenti studiati non seguono le

stesse relazioni fra temperatura e durata osservate per il Sole e le altre stelle. Inoltre i brillamenti più caldi sono più brillanti ma più brevi di quelli più freddi.

È stata poi studiata in dettaglio la relazione fra le proprietà dei brillamenti, i dischi protoplanetari e l'accrescimento. In precedenza non erano state trovate differenze sistematiche fra i brillamenti in stelle senza dischi e sistemi in accrescimento eccetto per una debole diminuzione della luminosità X in presenza di accrescimento. Il risultato principale della nostra analisi è che la lunghezza degli archi coronali in stelle ad alta rotazione e senza disco, può eccedere in modo significativo il raggio di corotazione Kepleriano, mentre in stelle con disco sembra non possa essere maggiore di questa lunghezza. Questo è consistente con un modello in cui il disco interno tronca e confina la magnetosfera stellare. Inoltre i brillamenti molto caldi, con temperature di picco che superano i 100 MK avvengono preferenzialmente sui sistemi in accrescimento, così come i brillamenti molto brevi. Entrambi questi fenomeni possono essere una conseguenza della distorsione e destabilizzazione della magnetosfera stellare da parte del disco. Infine i risultati non hanno mostrato chiara evidenza che ci siano brillamenti prodotti in archi congiungenti la stella con il disco, mentre sono tipicamente consistenti con eventi di lunga durata su archi ancorati con tutti e due i piedi sulla superficie stellare.

2.4.5 Il ciclo coronale nella stella di tipo solare HD 81809

Il ciclo solare di 11 anni è forse la manifestazione più nota dell'attività del Sole. Il ciclo si manifesta sia a livello fotosferico, che cromosferico e coronale. Nelle altre stelle di tipo solare il ciclo cromosferico è stato studiato in dettaglio, mentre il ciclo coronale è molto poco noto, soprattutto per le difficoltà osservazionali a monitorare in raggi X stelle diverse dal Sole per lunghi periodi di tempo.

Per ovviare, almeno in parte, a questa difficoltà è stato avviato un programma di monitoraggio a lungo termine con *XMM-Newton* della stella HD 81809, il cui ciclo cromosferico è molto ben noto, allo scopo di verificare la presenza e le caratteristiche del ciclo coronale e la sua relazione con quello cromosferico. Il programma di osservazione è basato su una serie di osservazioni regolari con *XMM-Newton* della stella, spaziate di sei mesi a partire dall'inizio della missione nel 2001. Per ogni epoca di osservazione sono state determinate la luminosità e la temperatura coronale, le cui variazioni sono state confrontate con le variazioni osservate in Ca II (Favata et al. 2008, A&A, 490, 1121). I risultati sono stati interpretati in termini di una combinazione di regioni attive, usando una metodologia sviluppata originariamente per studiare la corona solare. Le osservazioni presentano un ciclo ben definito con un'ampiezza oltre una decade e una luminosità media approssimativamente un ordine di grandezza maggiore di quella solare. La corona di HD 81809 può essere modellata in termini di una copertura della superficie da parte di regioni attive che varia nel tempo. Le regioni attive risultano simili a quelle presenti sul Sole, ma con una copertura maggiore. La corona di HD 81809 risulta quindi compatibile con una semplice estensione del caso solare.

2.5 Modelli

2.5.1 Brillamenti stellari

Le corone stellari non sono risolte spazialmente con gli attuali telescopi che operano nella banda X. I brillamenti stellari rivelati nella banda dei raggi X hanno molte analogie con i brillamenti osservati sul Sole: la forma della curva di luce, le elevate temperature (sopra i 10 milioni di gradi), i tempi scala caratteristici. L'utilizzo di analoghi modelli fisici permette, nel caso dei brillamenti stellari, di ottenere informazioni sulle strutture coronali in cui essi avvengono. Studiando le leggi generali di decadimento dei brillamenti, si è appurato che il tempo di decadimento scala con la lunghezza dell'arco coronale sede del brillamento. Dal tempo di decadimento si possono dunque stimare le dimensioni dell'arco, anche in assenza di immagini dirette della regione del brillamento. Tale procedura è complicata dal fatto che durante il decadimento si
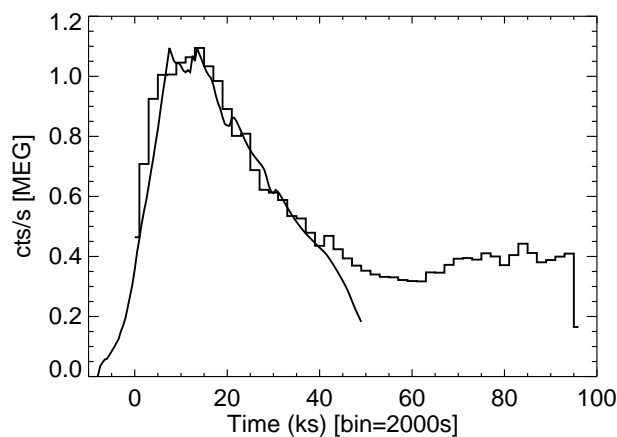
Figura 17: Confronto tra curva di luce osservata (istogramma) e ottenuta da un modello di arco coronale di lunghezza 10^{12} cm (linea continua) di un brillamento osservato con il satellite *Chandra* sulla stella gigante HR9024 (Testa et al. 2008, ApJ, 675, L97).

possono ancora avere notevoli rilasci di energia che, allungandone la durata, porterebbero ad una sovrastima della lunghezza. Secondo studi svolti dal nostro gruppo, è ancora possibile ottenere stime affidabili attraverso dei termini correttivi che tengono conto dell'effetto di questo riscaldamento residuo, ottenuti tramite una serie di simulazioni idrodinamiche (Reale et al. 1997, A&A, 325, 782).

Questo metodo ha avuto riconoscimento in ambito internazionale per applicazioni a brillamenti stellari osservati con *Einstein*, *ROSAT*, *ASCA*, *BeppoSAX* e *XMM-Newton* (si vedano le rassegne Reale 2002, A.S.P. Conference Series 277, 103; Reale 2003, Adv. Sp. Res., 32, 1057). Il metodo è stato poi esteso alla fase di salita e di picco dei brillamenti stellari con la derivazione di relative leggi di scala e metodi di stima della dimensione degli archi e con le prime applicazioni a brillamenti osservati (Reale 2007, A&A, 471, 271).

Osservazioni stellari da parte dei satelliti di ultima generazione hanno evidenziato brillamenti con particolare dovizia di dettagli, che si prestano a studi con modelli idrodinamici di arco coronale (p.es. su Proxima Centauri dal satellite *XMM-Newton*, Reale et al. 2004, A&A, 416, 733). Un'ultimo interessante caso riguarda un brillamento osservato sulla stella CN Leonis, spiegabile con un impulso della durata di soli pochi secondi (Schmitt et al. 2008, A&A, 481, 799).

L'applicazione di modelli idrodinamici dettagliati di archi coronali a brillamenti su stelle giovani, come quelle di Orione e del Toro (Favata et al. 2005, ApJS, 160, 469; Giardino et al. 2006, A&A, 453, 241) ha evidenziato la presenza di archi sottili e molto estesi, oltre le dimensioni delle stesse stelle, sulla scala della distanza tra stella e relativi dischi di accrescimento. Un arco altrettanto esteso ma più spesso spiega molto bene un brillamento osservato con il satellite *Chandra* su una stella gigante (HR9024, Fig. 17), dimostrando che anche in questa evolutiva è possibile la presenza di una corona di tipo solare (Testa et al. 2007, ApJ, 663, 1232; Testa et al. 2008, ApJL, 675, 97). I modelli si sono anche dimostrati compatibili con l'evidenza di fenomeni di fluorescenza X (Ercolano et al. 2008, ApJ, 688, 1315).

2.5.2 Shock da accrescimento in stelle in formazione

Le osservazioni in banda X ad alta risoluzione spettrale ($R \sim 600$) di stelle giovani in fase di accrescimento dimostrano la presenza di plasma a temperatura di circa $2 - 3 \times 10^6$ K e a densità $n \sim 10^{11} - 10^{12}\,\mathrm{cm}^{-3}$ (Kastner et al. 2002, ApJ, 567, 434; Schmitt et al. 2005, A&A, 432, 35; Gunther et al. 2006, A&A, 459, 29; Argiroffi et al. 2007, A&A, 465, 5; Robrade & Schmitt 2007, A&A, 473, 229). L'alta densità permette

di escludere che questa emissione sia dovuta a plasma coronale, infatti osservazioni in banda X ad alta risoluzione spettrale di stelle attive dimostrano che la densità del plasma racchiuso all'interno di archi coronali non supera il valore di $n \sim 10^{10}\,\mathrm{cm}^{-3}$ (Testa et al. 2004, ApJ, 617, 508). In alternativa è stato proposto che questa componente di plasma sia riscaldata dallo shock prodotto dall'impatto del materiale in accrescimento con la superficie della stella (Calvet & Gullbring 1998).

Al fine di approfondire questo problema i ricercatori dell'Osservatorio Astronomico di Palermo in collaborazione con il Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche dell'Università di Palermo hanno avviato una nuova linea di ricerca focalizzata sul modellaggio dell'interazione tra un flusso di accrescimento ed una atmosfera stellare. Come primo passo, è stata simulata l'interazione tra una colonna di accrescimento e una cromosfera stellare, definite a partire dalle caratteristiche derivate dalle osservazioni in banda X e in banda ottica della stella giovane in fase di accrescimento MP Mus (Sacco et al. 2008, A&A, 491, L17). È stato utilizzato un modello idrodinamico unidimensionale che include la gravità, le perdite radiative da un plasma otticamente sottile, la conduzione termica (inclusi gli effetti di saturazione), e che calcola lo stato di ionizzazione dell'idrogeno. Le equazioni dell'idrodinamica sono state risolte attraverso il codice parallelo a griglia adattiva FLASH (Fryxell et al. 2000, ApJS, 131, 273).

I risultati delle simulazioni sono riportati nella Fig. 18, dove viene mostrato l'andamento di temperatura, densità, pressione, e velocità alla base della colonna di accrescimento per vari istanti di tempo. Lo shock, che si forma appena il flusso in accrescimento incontra gli strati più densi della cromosfera, riscalda uno strato della colonna ad una temperatura di circa 3×10^6 K, ma dopo circa 300 s, a causa dell'incremento della densità e quindi delle perdite raditive alla base dello strato di plasma riscaldato dallo shock, si genera un collasso termico e il plasma si raffredda rapidamente. L'alternarsi di fasi di riscaldamento e raffreddamento si ripete ciclicamente, con un periodo di circa 400 s, durante il resto della simulazione.

Al fine di confrontare il risultato di questa simulazione con le osservazioni in banda X, i ricercatori coinvolti in questo progetto hanno sintetizzato la radiazione prodotta dal plasma riscaldato dallo shock da accrescimento a partire dai risultati della simulazione (Sacco et al. 2008, A&A, 491, L17). La luminosità X complessiva è dello stesso ordine di quella osservata in stelle giovani in fase di accrescimento e lo spettro X nella banda che include le righe usate per misurare la densità e la temperatura del plasma è in buon accordo con quello osservato per la stella MP Mus con il satellite *XMM-Newton* (Argiroffi et al. 2007, A&A, 465, 5).

Più recentemente, i ricercatori coinvolti in questo progetto hanno esteso lo studio, inizialmente focalizzato su un singolo caso, realizzando un set di simulazioni che permettesse di studiare le caratteristiche del sistema al variare della densità, della velocità, e dell'abbondanza degli elementi chimici pesanti del flusso di accrescimento (Sacco et al. 2009, in preparazione). Nello specifico sono stati analizzati 27 casi, che esplorano: valori di densità fra 10^{11} e $10^{13}\,\mathrm{cm}^{-3}$, valori di velocità fra 200 e $600\,\mathrm{km\,s}^{-1}$, e valori di abbondanza fra 0.2 e 5 in unità di abbondanze solari. I risultati preliminari di questo lavoro confermano che la struttura dello strato di plasma riscaldato dallo shock di accrescimento oscilla periodicamente, eccetto nei casi ad alta densità e velocità, quando la conduzione termica smorza le oscillazioni. Inoltre, in tutti i casi esaminati, l'estremità interna dello strato di plasma riscaldato dallo shock si colloca all'interno della cromosfera all'altezza per la quale la pressione termica della cromosfera imperturbata è uguale alla pressione d'ariete del flusso di accrescimento.

Parallelamente a questo lavoro, è stato sviluppato un modello magnetoidrodinamico bidimensionale dello shock da accrescimento sulla superficie stellare (Orlando et al. 2009, in preparazione). Anche in questo caso vengono considerati gli effetti della gravità, del campo magnetico stellare, delle perdite radiative di un plasma otticamente sottile, e della conduzione termica (anisotropa in presenza del campo magnetico). I parametri che definiscono l'atmosfera stellare e il flusso di accrescimento sono stati determinati a partire dalle osservazioni della stella MP Mus. Le simulazioni realizzate per tre diversi valori del campo magnetico sulla superficie stellare (1 G, 10 G e 50 G) dimostrano che, per campi magnetici deboli (1-10 G)
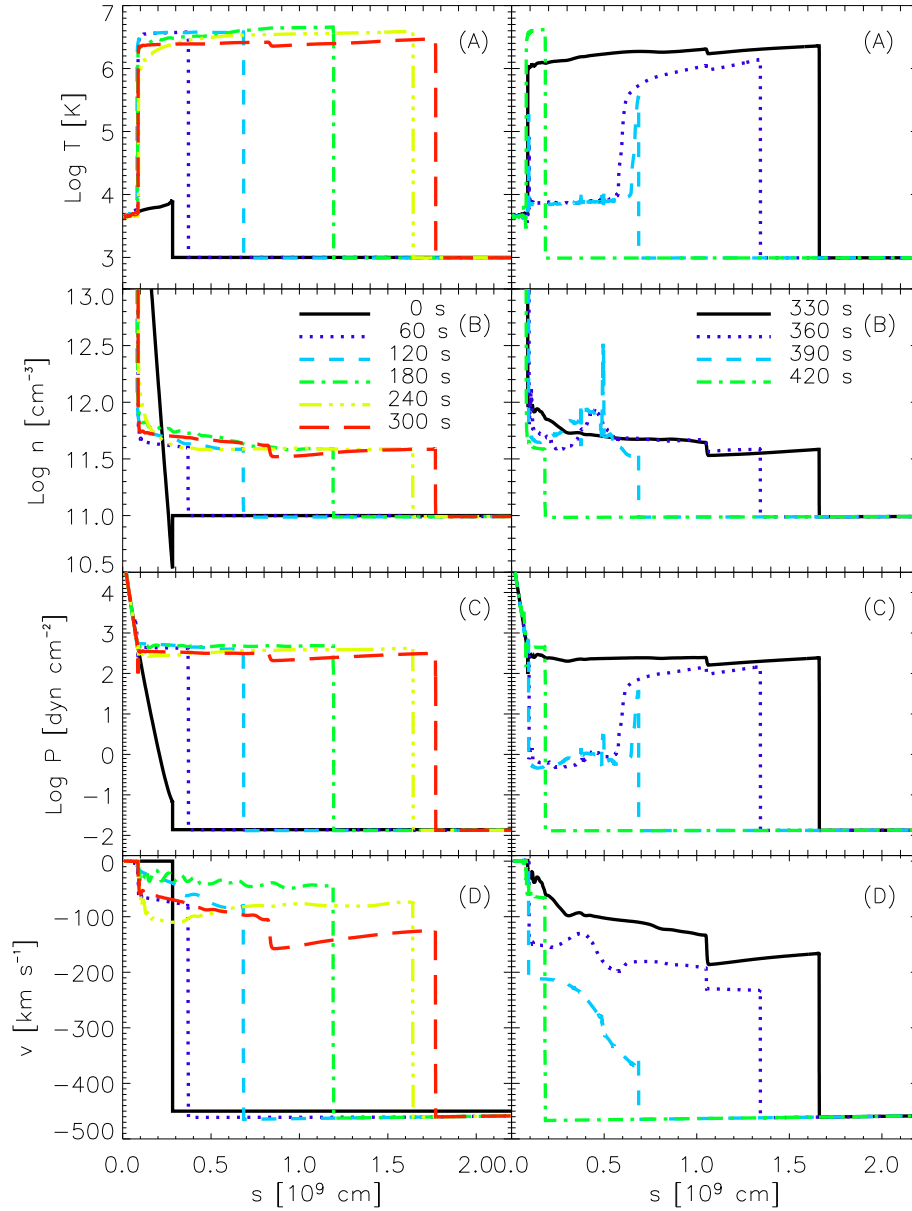
Figura 18: Andamento di temperatura (A), densità (B), pressione (C), velocità (D) lungo la colonna di accrescimento per vari istanti di tempo (figura tratta da Sacco et al. 2008, A&A, 491, L17).

parte del plasma a temperature di alcuni milioni di gradi fuoriesce dalla colonna a causa di una forte deformazione del campo magnetico (Fig. 19). Per campi magnetici relativamente forti (superiori a 50 G), il confinamento del campo magnetico risulta molto efficace ed il modello idrodinamico unidimensionale descritto da Sacco et al. (2008) risulta adeguato alla descrizione del fenomeno.

Risultati preliminari dei lavori descritti in questi ultimi due paragrafi sono stati presentati alla Scuola europea di Astrofisica tenutasi a Cardiff (Gennaio 2009) su “Numerical astrophysics and its role on star formation” e alla Scuola europea di Astrofisica tenutasi a Palermo su “X-rays from star forming regions” (Maggio 2009).
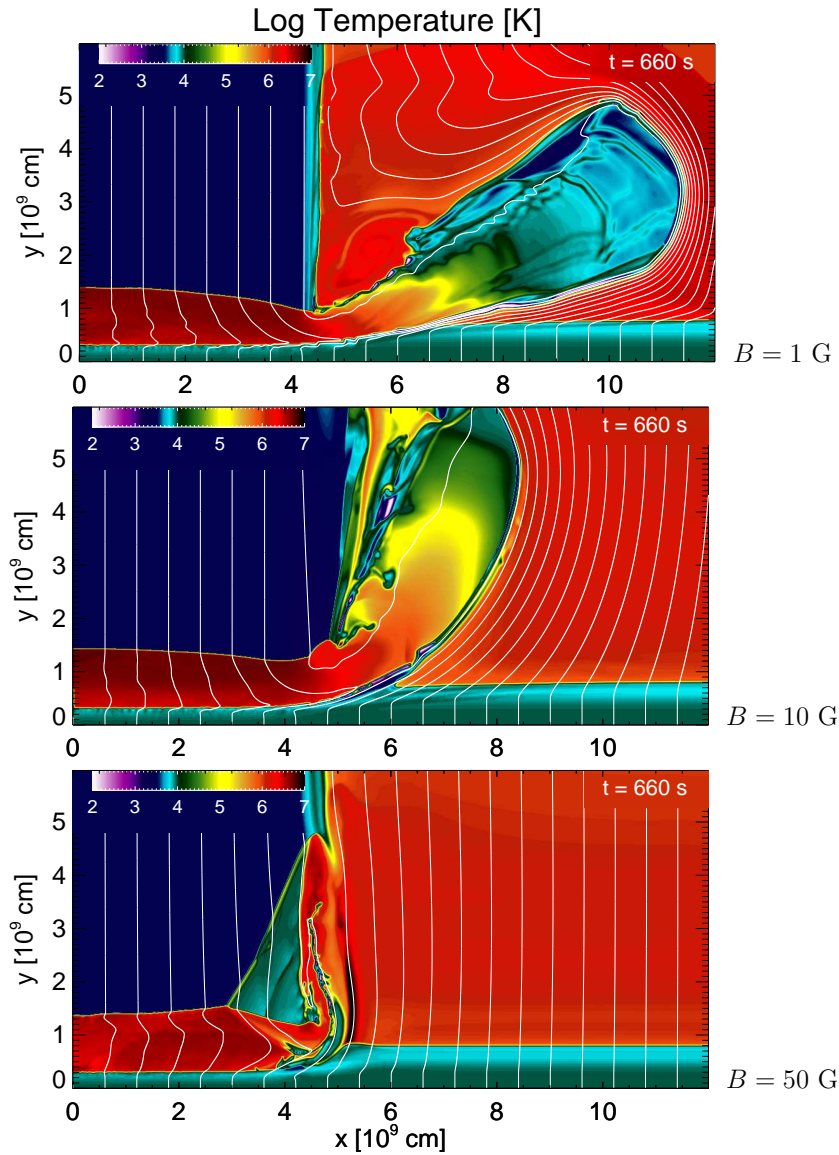
Figura 19: Distribuzione spaziale di temperatura (in scala log) sul piano (x, y), 660 sec dopo l'impatto, per intensità del campo magnetico stellare $B = 1, 10, 50$ G. La regione azzurro-verde nella parte bassa di ciascun pannello è la cromosfera della stella. La regione in rosso con temperature di circa 5 milioni di gradi è materiale della colonna di accrescimento post-shock. Le linee bianche sono le linee di campo magnetico. La figura mostra il potere confinante del campo magnetico che, ovviamente, varia in funzione del beta del plasma.

2.5.3 Effetto dei brillamenti sui fenomeni di accrescimento in stelle giovani

I brillamenti coronali rivelati negli oggetti stellari giovani possono avere intensità molto superiore a quella comunemente osservata in stelle di tipo solare, ed occorrono molto più frequentemente. Nel Sole, tali fenomeni energetici, sono spesso associati ad espulsioni di massa coronale (CMEs) e determinano perturbazioni del mezzo interplanetario ("space weather effects"). Ci si aspetta che fenomeni analoghi avvengano nelle stelle giovani e possano influenzare l'ambiente circumstellare: in particolare essi possono perturbare

la stabilità dei dischi circumstellari e quindi influenzare l'accrescimento di massa sulla stella. I brillamenti stellari, pertanto, possono giocare un ruolo importante nei fenomeni di accrescimento in oggetti stellari giovani (YSOs). Inoltre, le osservazioni X hanno mostrato che i brillamenti in YSOs sono spesso molto intensi e durano per tempi lunghi, suggerendo che essi possono essere associati a lunghi archi magnetici che connettono la superficie della stella con il disco circumstellare. Poiché si pensa che tali archi possano essere il canale attraverso cui avviene l'accrescimento di massa della stella dal disco, tali intensi brillamenti potrebbero essere connessi ad episodi di accrescimento.

Il nostro gruppo ha avviato recentemente un progetto che mira a studiare le possibili conseguenze di brillamenti coronali molto intensi sull'ambiente circumstellare ed, in particolare, sui dischi in YSOs. Un punto importante da verificare è dove i brillamenti più intensi hanno luogo nel sistema disco-stella. A questo scopo, abbiamo sviluppato un modello MHD che descrive l'ambiente circumstellare di un oggetto stellare giovane considerando un disco di accrescimento Kepleriano, il campo magnetico dipolare della stella, gli effetti della conduzione termica (anisotropa in presenza del campo magnetico), delle perdite radiative otticamente sottili, della gravità della stella, e della viscosità nel disco (Orlando et al. 2009, in preparazione). Abbiamo quindi avviato un intenso programma di simulazioni numeriche MHD 2.5D che descrivono l'occorrenza di un brillamento molto intenso nell'ambiente circumstellare della stella. Il modello è stato implementato usando il codice numerico MHD PLUTO (Mignone et al. 2007, ApJS, 170, 228) e le simulazioni sono state condotte sui sistemi HPC del CINECA nell'ambito dell'accordo INAF-CINECA "High Performance Computing resources for Astronomy and Astrophysics".

Abbiamo analizzato la dinamica globale del sistema disco-stella, considerando differenti posizioni del brillamento: sul piano equatoriale vicino la superficie stellare, oppure sul disco. La Fig. 20 mostra le distribuzioni spaziali della densità di massa circa 20 ore dopo il rilascio di energia che determina il brillamento. I risultati preliminari hanno dimostrato che grossi brillamenti sul disco localizzati tra il raggio di troncamento ed il raggio di corotazione determinano fenomeni di accrescimento sulla stella attraverso linee di campo magnetico che connettono il disco con la stella (vedi Fig. 20.A). Brillamenti localizzati in corona in prossimità della stella non hanno grossi effetti sul disco (e quindi sull'accrescimento) (Fig. 20.B). Brillamenti localizzati sul disco a distanze superiori al raggio di corotazione non determinano fenomeni di accrescimento (Fig. 20.C).

Dai modelli, prevediamo di sintetizzare l'emissione X e le curve di luce derivate dal brillamento per confrontare i risultati dei modelli con le osservazioni (raccolte dagli strumenti a bordo di *Chandra*, *XMM-Newton*, o *Suzaku*) e per derivare nuove diagnostiche dei grossi brillamenti osservati in stelle giovani.

2.5.4 Emissione X da oggetti Herbig-Haro

Gli oggetti Herbig-Haro (HH) sono shock che si formano dove un getto supersonico interagisce con il mezzo circostante. Gli oggetti HH sono stati osservati in diverse bande negli ultimi 50 anni: in ottico, radio, IR. Dal 2000 è stata scoperta anche emissione in banda X da alcuni oggetti HH; tra questi, i primi due ad essere osservati in banda X sono HH 2 e HH 154. L'emissione X da tali oggetti era stata prevista in accordo con la relazione tra la temperatura post-shock e la velocità di shock (vedi, ad esempio, la discussione in Bonito et al. 2007, A&A, 462, 645): per velocità di qualche centinaio di km/s sono attese temperature di milioni di gradi e quindi emissione in banda X. Bonito et al. (2007) riassumono le principali proprietà degli oggetti HH che emettono in X in tabella 1.

Il nostro gruppo si è concentrato principalmente sul getto protostellare HH 154 per diversi motivi: 1) è stato osservato sia con *XMM-Newton*, per sfruttare la sua grande area efficace e le sue proprietà di analisi spettrale, che con *Chandra*, per avvalersi della sua alta risoluzione spaziale; 2) la componente di emissione X dovuta alla corona è fortemente assorbita, pertanto è possibile osservare direttamente l'emissione X dovuta al getto senza contaminazione coronale; 3) tale oggetto è il più luminoso tra i getti più vicini a noi.
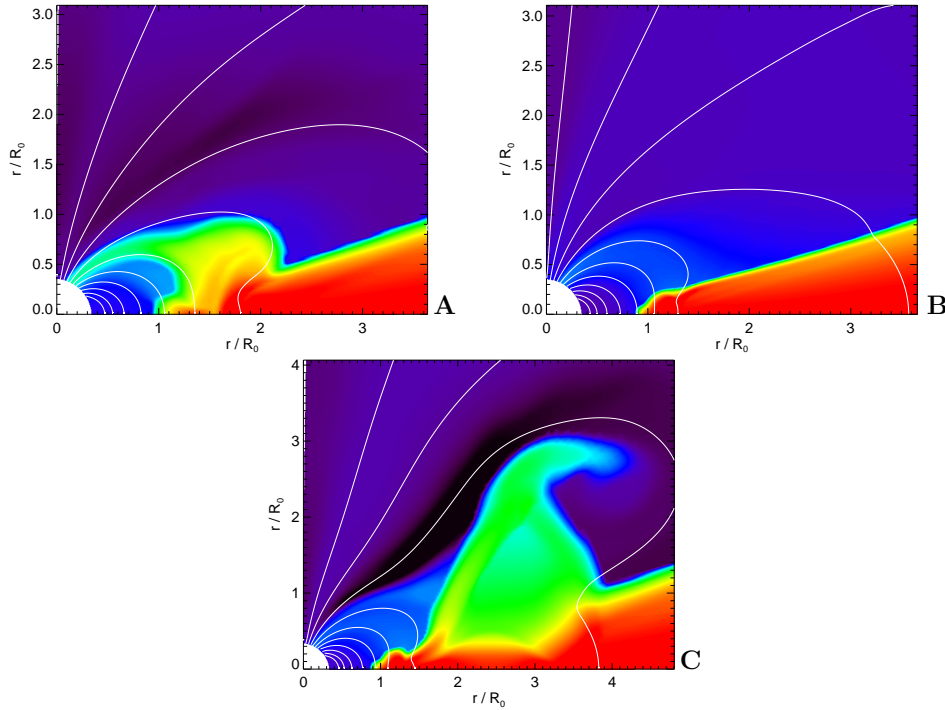
Figura 20: Distribuzione spaziale di densità (in scala log) 20 ore dopo il brillamento. La regione bianca in basso a sinistra di ciascun pannello è la superficie della stella, la regione rossa indica il disco. Il brillamento è localizzato sul disco tra il raggio di troncamento ed il raggio di corotazione (A), in corona in prossimità della stella (B), sul disco a distanze superiori al raggio di corotazione (C). Le linee bianche sono le linee di campo magnetico.

Il modello di getto protostellare proposto dal nostro gruppo negli anni precedenti (getto continuo che interagisce con un mezzo ambiente uniforme, discusso in Bonito et al. 2007, A&A, 462, 645) riesce a spiegare il comportamento spettrale della sorgente X osservata, i valori di best-fit di temperatura e misura di emissione, la sua luminosità e velocità. Tale modello, tuttavia, non è adatto a riprodurre le nuove caratteristiche osservate e discusse in Sez. 2.3.8. Pertanto abbiamo raffinato ulteriormente il nostro modello per spiegare la posizione della sorgente X alla base del getto, la sua complessa morfologia e la sua variabilità su tempi scala di pochi anni. Finora questi studi possono essere condotti in dettaglio solo sul getto HH 154, essendo questo l'unico getto che permette di effettuare un'analisi spazialmente risolta della struttura dell'emissione X osservata, essendo tra i getti più vicini a noi il più luminoso. Dal momento che il modello di getto continuo spiega in modo naturale l'emissione X da getti, abbiamo usato la stessa base fisica di partenza, esplorando l'eventualità di una velocità di espulsione del getto variabile nel tempo, scenario plausibile in relazione a fenomeni episodici di accrescimento.

Il nostro gruppo sta lavorando all'esplorazione dello spazio dei parametri del modello che descrivono il sistema getto/ambiente: il numero di Mach, il contrasto di densità, la distribuzione di velocità iniziale di espulsione. Qui discuteremo brevemente i risultati di un modello con distribuzione esponenziale di velocità con pochi blob espulsi ad alta velocità e la maggior parte dei blob espulsi a bassa velocità che provocano fenomeni di mutua-interazione tra blob espulsi in epoche diverse e con velocità differenti.

La Fig. 21 mostra il caso di un getto sotto-denso rispetto al mezzo ambiente inizialmente imperturbato. Si possono distinguere i fenomeni di mutua-interazione dovuti alle collisioni tra blob espulsi in epoche
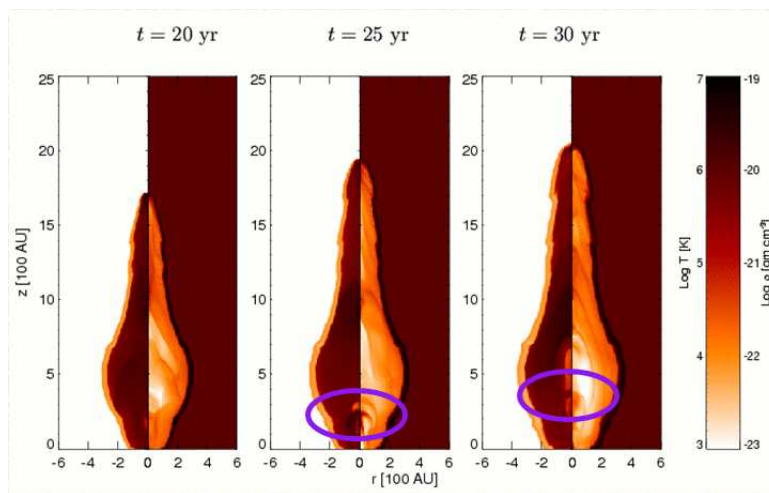
Figura 21: Mappe bidimensionali di temperatura (semi-pannelli a sinistra) e densità (semi-pannelli a destra) del modello di getto pulsato per tre diversi stadi evolutivi: le ellissi sovra-imposte alle figure evidenziano le mute-interazioni tra diversi blob (Bonito et al. 2009, in preparazione).
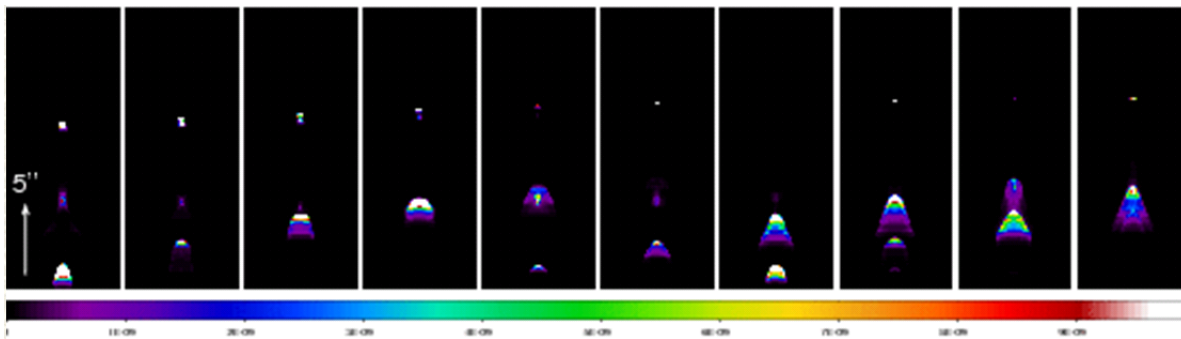
Figura 22: Mappe dell'emissione X derivate dal modello di getto pulsato durante 10 anni di evoluzione (Bonito et al. 2009, in preparazione).

diverse e che provocano la formazione di nodi densi e caldi all'interno del getto.

La Fig. 22 mostra l'evoluzione in 10 anni dell'emissione X sintetizzata a partire dal nostro modello. Due immagini consecutive corrispondono ad un salto temporale di 1 anno. Quest'immagine mostra come il modello di getto pulsato riesca a riprodurre emissione X alla base del getto, con una morfologia complessa ed una variabilità su scale temporali di pochi anni, in accordo con quanto osservato nel getto HH 154.

La Fig. 23 mostra le mappe di emissione in banda X come sarebbero osservate con *Chandra*/ACIS-I, con la stessa risoluzione spaziale, derivate dal nostro modello di getto pulsato: la sorgente X derivata dal modello risulta complessa e variabile in pochi anni ed anche le dimensioni della sorgente sono in ottimo accordo con le osservazioni *Chandra* (a sinistra in figura).

In conclusione il nostro nuovo modello sembra molto promettente per spiegare il meccanismo fisico che porta alla complessa morfologia ed alla variabilità della sorgente X scoperta alla base dei getti protostellari.
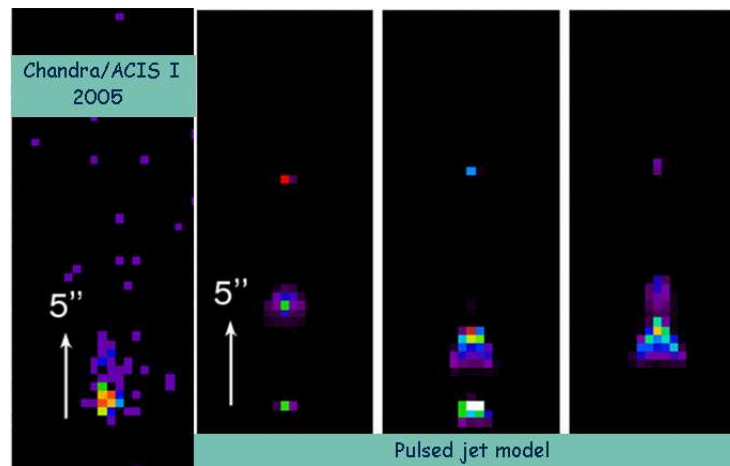
Figura 23: Confronto tra le mappe di emissione X derivate dal nostro modello di getto pulsato e l'osservazione *Chandra*/ACIS-I del 2005 del getto HH 154 (Bonito et al. 2009, in preparazione).

2.5.5 Nova outbursts

Come descritto nella Sez. 2.3.6, le osservazioni di *Chandra*/HETG della nova ricorrente RS Ophiuchi 13.9 giorni dopo il suo outburst del 2006 rivelano uno spettro ricco di righe di emissione indicativo di plasma emittente a temperature tra i 3 ed i 60 MK (Drake et al. 2009, ApJ, 691, 418). Le righe risultano molto piccate e suggeriscono un meccanismo di collimazione del plasma emittente in direzione perpendicolare alla linea di vista. Inoltre le righe appaiono asimmetriche e spostate verso il blu per effetto Doppler. Drake et al. (2009) hanno suggerito che la natura asimmetrica del mezzo circumstellare in cui l'esplosione è avvenuta potrebbe essere responsabile sia dell'ampio intervallo di temperature che della collimazione dello shock osservati.

Ricercatori dell'Osservatorio Astronomico di Palermo, in collaborazione con l'Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics (Cambridge, USA) ed il Naval Research Laboratory (Washington, USA), hanno investigato l'origine dell'allargamento, blue-shift ed asimmetria delle righe osservate con *Chandra*/HETG, per mezzo di accurate simulazioni idrodinamiche in tre dimensioni (Orlando, Drake & Laming 2009, A&A, 493, 1049). Il modello da loro sviluppato descrive l'espansione dell'onda d'urto, generata dall'outburst occorso nel 2006 in RS Oph, attraverso il mezzo circumstellare del sistema composto da una gigante rossa e dalla sua compagna nana bianca (su cui avviene la reazione termonucleare che porta all'outburst). Il modello tiene conto della conduzione termica (inclusi gli effetti di saturazione del flusso di calore) e delle perdite radiative da parte di plasma otticamente sottile. Il mezzo circumstellare include un addensamento equatoriale previsto dalla teoria e suggerito da osservazioni nella banda ottica ed infrarossa. Il modello è stato implementato usando il codice idrodinamico a griglia adattiva FLASH (Fryxell et al. 2000, ApJS, 131, 273) e le simulazioni 3D sono state condotte sull'infrastruttura GRID del consorzio COMETA.

Dalle simulazioni è stata sintetizzata l'emissione X e derivati gli spettri come sarebbero osservati con *Chandra*/HETG. La sintesi spettrale tiene conto dell'allargamento termico delle righe, del Doppler shift delle righe dovuto a componenti della velocità lungo la linea di vista, e dell'assorbimento dovuto al mezzo circumstellare post-shock e al materiale espulso dalla reazione termonucleare (ejecta), assumendo che quest'ultimo abbia una metallicità 10 volte superiore a quella del mezzo circumstellare. Il piano dell'orbita del sistema RS Oph è stato assunto inclinato di 35^o rispetto alla linea di vista in accordo con il valore stimato dalle osservazioni prima dell'outburst del 2006.

È stata condotta una estesa esplorazione dello spazio dei parametri del modello. Come esempio, il pan-
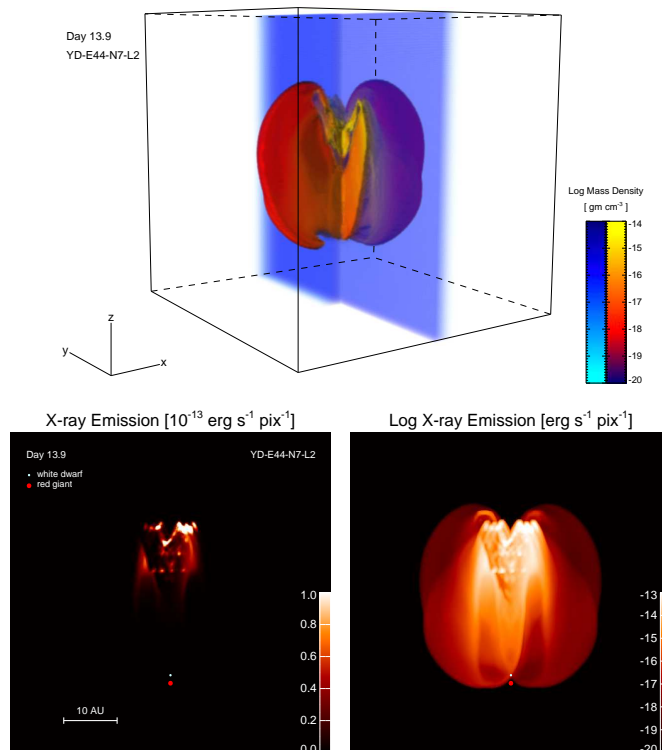
Figura 24: *Pannello in alto:* rendering tridimensionale della densità di massa (in scala log) 13.9 giorni dopo l'outburst per il modello di "best-fit" (tratto da Orlando et al. 2009). In rosso (blu) si indica il plasma con temperatura maggiore (minore) di 1 MK. *Pannelli in basso:* immagini nella banda X in scala lineare (a sinistra) e logaritmica (a destra) per il modello di best-fit (tratto da Orlando et al. 2009).

nello in alto di Fig. 24 mostra il rendering tridimensionale della densità di massa (in scala log) 13.9 giorni dopo l'outburst per il modello di "best-fit" trovato. La morfologia dello shock è piuttosto complessa, asferica, e si origina dalla propagazione dello shock attraverso il vento della gigante rossa e l'addensamento sul piano equatoriale. Quest'ultimo, in particolare, determina la collimazione dell'onda d'urto perpendicolarmente al piano dell'orbita del sistema binario e porta ad una morfologia bipolare dello shock che ricorda quella osservata nelle bande radio ed ottica.

Il modello di best-fit riproduce l'emissione X osservata in modo naturale se il mezzo circumstellare in cui avviene l'outburst è caratterizzato da un addensamento equatoriale. Il modello predice che gran parte dell'emissione X durante le prime fasi evolutive si origina in una regione piccola che si propaga in direzione perpendicolare alla linea di vista e localizzata appena dietro il fronte di interazione tra l'onda d'urto e l'addensamento equatoriale (vedi pannelli in basso di Fig. 24). I profili di riga predetti dal modello sono asimmetrici e spostati verso il blu e sono notevolmente simili a quelli osservati (confronta Fig. 25 con Fig. 14 della Sez. 2.3.6). Le asimmetrie sono dovute ad un sostanziale assorbimento della componente dell'emissione X con Doppler-shift verso il rosso da parte del materiale degli ejecta.

Il confronto tra i dati ad alta qualità di *Chandra*/HETG ed i risultati del nostro modello ha permesso di scoprire, per la prima volta, i dettagli della struttura emittente nella banda X durante le prime fasi di evoluzione dell'outburst, contribuendo ad una migliore comprensione della fisica dell'interazione tra l'outburst di nova ed il mezzo circumstellare nelle novae ricorrenti. Le implicazioni di questo studio sono rilevanti sulla determinazione se RS Ophiuchi è o non è un sistema progenitore di supernovae di tipo Ia.
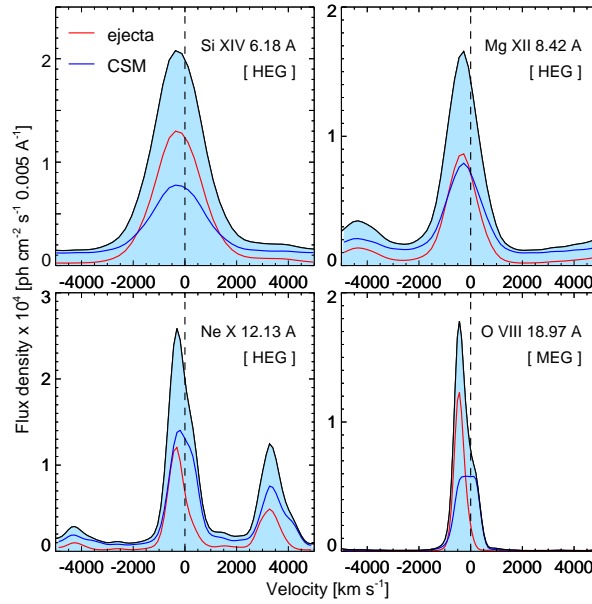
Figura 25: Profili di riga sintetizzati dal modello di best-fit al giorno 13.9 (tratto da Orlando et al. 2009). La figura mostra il contributo all'emissione X del materiale degli ejecta (linee rosse) e del mezzo circumstellare post-shock (linee blu). Si confronti questa figura con la Fig. 14 della Sez. 2.3.6.

3 Esoplanetologia e Astrobiologia

3.1 Effetti della radiazione ad alta energia sulla formazione ed evoluzione dei sistemi planetari e studi di interesse di astrobiologia

Come conseguenza degli studi sull'emissione ad alta energia delle corone stellari e in particolare in stelle giovani, il gruppo di OAPA ha sviluppato un interesse nello studio della interazione della radiazione ad alta energia, proveniente dalle stelle, con il processo di evoluzione dei dischi e di formazione dei sistemi planetari durante la fase di pre sequenza, e di formazione ed evoluzione delle atmosfere planetarie durante la fase di sequenza principale. Inoltre il gruppo ha avviato una linea di ricerca sperimentale per studiare gli effetti della radiazione ad alta energia su molecole prebiotiche e biotiche e di conseguenza sulle implicazioni nel contesto dell'origine della vita.

Come descritto nelle altre sezioni, l'emissione in raggi X delle stelle normali, diminuisce di più di 3 ordini di grandezza durante la vita di una stella. In particolare una stella di una massa solare che si trova in fase di pre-sequenza ha una luminosità X di circa 10^{30} erg/sec, valore con cui arriva sulla sequenza principale. Durante la vita sulla sequenza principale, la rotazione stellare diminuisce (a causa del cosiddetto "braking magnetico") con una conseguente diminuzione della sua emissione coronale.

Il Sole oggi, con un'età di 5 Gyr, ha una luminosità X media di 10^{27} erg/sec, circa 3 ordini di grandezza minore di quando era appena arrivato sulla sequenza principale. Inoltre il suo spettro X è ora molto meno energetico con una temperatura dominante di qualche milione di gradi, mentre nelle prime fasi aveva una temperatura fra 10 e 20 milioni di gradi. Questo implica che nella fase di frammentazione dei dischi, quando si sono formati i sistemi planetari, e nella fase di formazione ed evoluzione delle atmosfere planetarie, i fotoni ad alta energia emessi dalla stella erano più numerosi di alcuni ordini di grandezza rispetto a quelli emessi adesso dal Sole.

3.1.1 Emissione X, dischi e formazione dei sistemi planetari

L'intensa radiazione X nelle prime fasi della vita di una stella, può avere un'influenza importante sui fenomeni legati al processo di formazione stellare stesso, sull'evoluzione dei dischi e sulla loro frammentazione. Questa radiazione è la principale fonte di ionizzazione dei dischi protostellari e jets. La ionizzazione influenza la viscosità dei dischi (e quindi per esempio il tasso di accrescimento di massa) e il meccanismo con cui il disco è ancorato alla stella (e quindi l'evoluzione del momento angolare stellare). Per avere un buon modello dei dischi e della loro evoluzione, fino al momento in cui si formano i pianeti, è necessario sapere esattamente dove si trova il plasma emittente e le proprietà spettrali e di variabilità dell'emissione. È particolarmente interessante la possibilità che l'emissione dai jet sia un fenomeno comune: mentre la maggior parte del disco in accrescimento è illuminato dai raggi X provenienti dall'oggetto centrale da un piccolo angolo, l'emissione dal jet, che si trova al di sopra del disco, lo illuminerebbe da sopra, ionizzando il suo materiale molto efficientemente. Inoltre è necessario determinare l'intensità e la frequenza degli eventi intermittenti da ciascuna sorgente nel sistema (brillamenti stellari e emissione da jet) per potere studiare in dettaglio gli effetti sui dischi.

All'interno di questa tematica si sono attivati:

- Studi sistematici delle proprietà spettrali e di variabilità (brillamenti) dell'emissione ad alta energia delle stelle giovani con dischi in vari stadi evolutivi e in differenti ambienti (vedi per esempio nell'ambito del progetto COUP, Sez. 2.1.2 e in altre regioni di formazione stellare);
- Osservazioni e sviluppo di modelli di emissione X da jet, con particolare attenzione alle condizioni fisiche per cui si ha radiazione ad alta energia da essi;
- Studi delle righe di fluorescenza in raggi X del ferro e in Infrarosso del Neon, eccitate dalla radiazione ad alta energia proveniente dalla stella che incide sul disco freddo, neutro o parzialmente ionizzato (vedi il capitolo dedicato alle stelle in formazione, Giardino et al. 2007, 2009; Flaccomio et al. 2009 in press);
- Studi osservativi e teorici della possibile interazione fra luminosità X e accrescimento da dischi circumstellari. Una recente analisi della luminosità X delle stelle T Tauri di Orione, mostra che c'è una relazione tra il tasso di accrescimento e la luminosità X. L'analisi di recenti modelli di dischi di accrescimento riscaldati dalla radiazione X stellare, suggerisce che la perdita di massa per fotoevaporazione dei dischi protoplanetari dipende dalla luminosità X ed è sufficientemente alta da essere competitivi con il tasso di accrescimento. Il riscaldamento del disco da parte della radiazione X fornisce un possibile meccanismo per modulare il flusso del gas in accrescimento e può essere almeno in parte responsabile per la relazione osservata (Drake et al. 2009).

3.1.2 Emissione X e interazione con le atmosfere planetarie

Una conseguenza dell'evoluzione delle corone stellari è che la radiazione ad alta energia incidente sulle atmosfere planetarie diminuisce drasticamente durante la vita della stella. Si è quindi attivata una linea di ricerca mirata a integrare la conoscenza fra l'emissione stellare (e solare) ad alta energia e le condizioni chimiche e fisiche delle atmosfere planetarie.

I meccanismi coinvolti nella interazione fra la radiazione ad alta energia e atmosfere planetarie sono complessi: La radiazione ultravioletta, molto intensa, interagisce con gli strati più esterni dell'atmosfera, mentre i raggi X interagiscono attraverso la ionizzazione, l'eccitazione e il riscaldamento dovuto al fotoassorbimento, e attraverso la ionizzazione, l'eccitazione indotta dagli elettroni secondari prodotti durante l'interazione fotone-gas. Tutto ciò può produrre effetti globali complessi sull'equilibrio di ionizzazione e chimico dell'atmosfera (Cecchi Pestellini et al. 2006). Attraverso un modello accurato di fotoionizzazione sono stati calcolati il rate e l'efficienza del riscaldamento, insieme al valore della colonna a cui i fotoni

di una data energia vengono completamente assorbiti all'interno dell'atmosfera. Mentre il riscaldamento degli strati esterni è dominato dalla radiazione ultravioletta, per colonne superiori a 10^{20} cm^{-2} solo la radiazione X può riscaldare l'atmosfera (Cecchi Pestellini et al. 2009). In certe condizioni di composizione chimica e densità, può essere prodotta emissione IR e UV secondaria, e in alcuni casi dosi biologicamente significative di radiazione UV possono raggiungere zone dell'atmosfera profonde, otticamente spesse rispetto alla radiazione X incidente. Si possono avere anche effetti significativi sulla temperatura dell'atmosfera planetaria con conseguenze sull'abitabilità del pianeta. Questi studi sono condotti in collaborazione con C. Cecchi Pestellini (INAF-Osservatorio di Cagliari).

Lo studio degli effetti dell'emissione dell'alta atmosfera stellare sui pianeti è quindi cruciale per capire gli effetti del Sole primordiale sulla formazione ed evoluzione dell'atmosfera terrestre (ma anche per esempio di Marte) e finalmente sullo sviluppo biologico.

All'interno di questa tematica è stato studiato come la radiazione X stellare possa influenzare la perdita di massa da parte dei pianeti durante tutta la vita della stella. Tenendo conto dell'evoluzione della funzione di luminosità in raggi X, si trova che l'evoluzione della massa dei pianeti in orbita stretta, dipende in modo significativo dalla storia dettagliata della luminosità X della stella parente. Nel caso delle stelle di tipo solare, le stelle che si trovano nella coda ad alta luminosità della distribuzione possono fare evaporare pianeti entro 0.5 AU, mentre una frazione sostanziale di pianeti possono sopravvivere se sono esposti a una radiazione di intensità moderata. Come conseguenza di questo fenomeno, la funzione di massa planetaria può subire modifiche significative a causa delle perdite atmosferiche (Penz, Micela, & Lammer 2008).

HD 209458b è il pianeta gigante in orbita stretta attorno alla sua stella studiato più approfonditamente. In particolare, ricercatori di OAPA hanno ricostruito l'evoluzione della perdita di massa planetaria indotta dalla radiazione ad alta energia proveniente dalla stella durante tutta la sua vita, studio necessario per comprendere lo stato attuale del pianeta. È stata calcolata l'efficienza della perdita di massa dovuta al blow up idrodinamico studiando la perdita di atomi di idrogeno dal pianeta a causa dell'emissione X e EUV stellare. La perdita di massa è stata calcolata come funzione dell'energia assorbita nella termosfera tramite un algoritmo numerico dipendente dal tempo che risolve il sistema di equazioni idrodinamiche includendo gli effetti del lobo di Roche. Dipendendo dall'efficienza del riscaldamento, la massima temperatura ottenuta per una termosfera ricca di idrogeno è circa 5000-10000 K a 1.5 R_{pl} in accordo con le osservazioni. Lo studio dimostra che la parte superiore dell'atmosfera di HD 289458b subisce un blow up idrodinamico anche a queste basse temperature se non si trascurano gli effetti gravitazionali causati dalla vicinanza del pianeta al limite del lobo di Roche. Assumendo la massima efficienza il pianeta può essere soggetto a una perdita di massa di $\sim 3.5\ 10^{10}$ g s^{-1}. Considerando che il flusso XUV stellare era molto più alto quando la stella era molto giovane, la perdita di massa può avere raggiunto nel passato un valore di due ordini di grandezza più alto. La perdita di massa totale, integrata durante la vita della stella, è compresa fra il 2% e il 5%. Si trova che alla distanza orbitale del pianeta (0.045 AU), le forze mareali sono trascurabili, ma che diventano rilevanti per distanze < 0.02 AU. In questi casi gli effetti combinati della radiazione XUV e del lobo di Roche possono produrre una perdita di $\sim 30\%$ della massa del pianeta in 4 Gyr (Penz, Erkaev, Kulikov et al. 2008). Questo primo studio sistematico della storia della perdita di massa di HD 209458b è importante per verificare i modelli di evoluzione esoplanetaria.

3.2 Origine della Vita: Astrobiologia Sperimentale

Sistemi planetari come il nostro si sono formati dal collasso di dense nubi interstellari composte da gas molecolare e particelle di polvere che attraverso l'azione della gravità hanno dato origine ad una pletora di oggetti di dimensioni variabili dai piccoli aggregati di polvere, ai grani, alle meteoriti. Da questa condizione iniziale, in poche decide di milioni di anni si sono formati i pianeti (e.g. Lissauer 1993, ARAA 31, 129). L'osservazione di un numero rilevante di molecole organiche complesse negli spettri di tali nubi

molecolari ha suggerito una possibile connesione tra l'origine della vita sulla Terra e la chimica interstellare. Tuttavia come le molecole prebiotiche possano essersi evolute a formare strutture più complesse e quali siano state le condizioni richieste affinchè la vita possa essersi formata ed evoluta è ad oggi ancora da capire. Studi di chimica organica abiotica, attraverso l'osservazione delle nubi molecolari, delle comete e delle meteoriti offrono un interessante scenario evolutivo dei processi chimici che hanno portato all'origine della vita. In questo scenario, gli elementi biogenici prodotti attraverso una lunga storia cosmica, contribuirebbero al bacino di materiale organico presente sulla Terra primordiale da cui ha avuto origine l'evoluzione molecolare prebiotica. Una prova importante della teoria dell'evoluzione chimica pebiotica è fornita dalle osservazioni di molecole complesse chiarali, quali amino acidi, in meteoriti (e.g. Cronin & Pizzarello 1997, Science 275, 951). Alcuni degli amino acidi trovati in meteoriti mostrano un eccesso enantiomerico di tipo L (levogiro) dominante negli amino acidi alla base della struttura degli esseri viventi. Così, durante la fase primordiale di intenso bombardamento della Terra da parte dei relitti della formazione del sistema solare la Terra avrebbe potuto essere rifornita del materiale organico necessario all'innesco del processo evolutivo che ha portato alla formazione della vita.

Lo scenario brevemente descritto in questa sezione pone le basi per due principali filoni di ricerca nel campo dell'origine della vita: 1) lo studio dei processi che hanno portato, all'interno delle nubi protoplanetarie alla formazioni di molecole organiche complesse; 2) lo studio della sopravvivenza di tali molecole, sia nello spazio che sulla Terra, in presenza di un campo radiativo, del Sole giovane, molto più intenso di quello attuale. Questi quesiti sono alla base delle linee di ricerca che il gruppo dell'Osservatorio Astronomico di Palermo ha intrapreso negli ultimi anni e che saranno brevemente riassunti nelle sezioni successive.

3.2.1 Emissione X ed Effetti su Molecole Organiche

Durante la fase iniziale della comparsa della vita sulla Terra la protezione della atmosfera dalla radiazione solare era praticamente trascurabile. In queste condizioni è importante capire come i complessi organici si siano formati e strutturati nonostante la dose elevata di radiazione X ed UV proveniente dal Sole. Le molecole di base che molto probabilmente sono state trasportate sulla Terra durante il periodo di copioso impatto meteoritico e cometario, hanno dovuto trovare un ambiente favorevole per strutturarsi e formare sistemi più complessi. In questo contesto si inquadra una delle linee di ricerca sperimentale, avviata dal gruppo dell'Osservatorio Astromomico di Palermo, mirata a studiare gli effetti della radiazione ad alta energia su molecole prebiotiche e biotiche e a capire le implicazioni nel contesto dell'origine della vita. Dal 2004 infatti il gruppo ha intrapreso lo studio degli effetti della radiazione X soffice di tipo stellare su molecole organiche, DNA e amino acidi. Gli effetti della radiazione X-soffice su molecole di DNA libero e adsorbito su argilla sono stati studiati (Ciaravella et al. 2004, IJAsB, 3, 31) ed è stato mostrato che, a parità di dose, le molecole adsorbite su argilla non subiscono degradazione. Questo risultato è in accordo con l'ipotesi, ormai ampiamente accettata, che così come la presenza di acqua anche quella di superfici minerali e in particolare di argille potrebbe avere favorito la polimerizzazione e protetto il materiale organico dalla fotodegradazione.

Recentemente è stato intrapreso anche uno studio degli effetti della radiazione X su amino acidi. In particolare sono state utilizzate molecole di triptofano, un amino acido che presenta entrambe le caratteristiche strutturali degli amino acidi importanti per la vita, un anello aromatico ed una catena alifatca. Come confronto alcuni campioni sono stati anche irradiati con radiazione UV a 278 nm, una delle bande di assorbimento della molecola. La radiazione X agisce principalmente sulla catena alifatica mentre quella UV a 278 nm, sull'anello aromatico. Questa attività è stata supportata in parte da risorse della ricerca di base ed dal PRIN-INAF 2006 finanziato all'inizio del 2007. Gli effetti della radiazione X soffice sono stati confrontati con quelli ottenuti irradiando le stesse molecole con radiazione nella banda UV. La diagnostica

degli effetti della radiazione è stata effettuata tramite NMR degli idrogeni della molecola, spettroscopia di massa (MS) e HPLC-MS. I risultati di questi esperimenti sono descritti in Ciaravella et al. 2009 (in preparazione) e Mingoia et al. 2009 (in preparazione).

Gli studi sugli amino acidi effettuati in condizioni terrestri, solventi liquidi a temperatura ambiente, saranno estesi e confrontati con quelli esistenti nello spazio. Questo richiederà l'irraggiamento in condizioni criogeniche depositati su supporti che riproducano gli analoghi di aggregati di particelle di polvere interstellari. Si pianifica di condurre e/o ripetere alcuni esperimenti in condizioni spaziali nel contesto dell'esperimento FEBO (Facility for ExoBiology Observations), di cui la D.ssa Angela Ciaravella è uno dei PI, a bordo della stazione spaziale internazionale, il cui studio di fase A è iniziato nell'ambito del bando ASI 2007 "Missioni di Opportunità".

3.2.2 Light Irradiation Facility for Exobiology (LIFE)

Parallelamente alle attività descritte nel paragrafo precedente è in fase di realizzazione il laboratorio LIFE mirato allo studio del ruolo della radiazione X ed UV da stelle di tipo solare giovane nella sintesi di molecole organiche complesse nello spazio, basilari per l'origine della vita sulla Terra. Il laboratorio LIFE è in fase di completamento e ad oggi comprende:

1. Una camera ad alto vuoto (10^{-11} mbar), contenente 14 finestre, oltre a quelle dedicate al sistema di pompaggio, alle quali potranno essere connessi diversi strumenti di misura e sorgenti di radiazione. La camera è attualmente dotata di una sorgente UV (HI Lyα), una sorgente X (1.5 - 10 keV), un criostato integrato con un sistema di controllo della temperatura che permette di controllare la temperatura con una accuratezza di ± 1 K. Uno spettrometro di massa (RC PIC Quadrupole Mass Spectrometer) in grado di misurare masse fino a 300 amu. Inoltre la camera è fornita di un sistema di baking che permette di riscaldare la camera fino a 200 C al fine di ottenere alti livelli di vuoto.

2. Una clean room di classe 100.

3. Un forno da laboratorio che raggiunge temperature di 600 C.

Il laboratorio LIFE è stato costruito utilizzando risorse messe a disposizione dalla Regione Sicilia e risorse sui fondi della Ricerca di Base. Inoltre si prevede che verrà finanziato un progetto,della durata di due anni, presentato nell'ambito del bando ASI 2006 "Nuove Tcnologie e Spin-in: selezione di idee" per la costruzione di una Macro-Cavità da integrare nella camera UHV del laboratorio LIFE.

4 Resti di Supernova

L'attività di studio dei resti di supernova (SNR) comprende tre ampie tematiche di ricerca: i) lo studio dell'interazione fra shock, mezzo interstellare ed ejecta e la diagnostica delle condizioni termodinamiche nel mezzo post-shock, attraverso l'analisi dell'emissione termica nei raggi X; ii) lo studio dei processi di accelerazione di particelle nei fronti di shock, attraverso lo studio dell'emissione termica nei raggi X e dell'emissione non-termica nella banda radio ed in quelle dei raggi X e gamma; iii) evoluzione delle pulsar wind nebulae in resti di supernova compositi.

4.1 Il mezzo post-shock nei SNR: il contributo degli ejecta

Abbiamo analizzato l'emissione X ad alta energia (1.4-5 keV) del resto di supernova IC 443, studiando la distribuzione spaziale delle proprietà fisiche e chimiche del mezzo post-shock (mezzo interstellare e frammenti della stella progenitrice, detti *ejecta*). L'obiettivo di questo studio consiste nel ricavare informazioni

sul meccanismo di esplosione della stella progenitrice, sull'età del resto di supernova e sul suo stato di ionizzazione.

A questo fine, abbiamo analizzato un set di osservazioni effettuate col satellite *XMM-Newton*, evidenziando come la morfologia dell'emissione X ad alta energia sia chiaramente piccata al centro. Abbiamo inoltre rivelato la presenza di una struttura ad anello (visibile nelle mappe di larghezza equivalente riportate in Fig. 26), ricca di zolfo e silicio, chiaramente centrata sulla pulsar wind nebula (PWN). L'analisi spettrale spazialmente risolta ha dimostrato che questa struttura è costituita da ejecta, riscaldati dal reverse shock.

Confrontando la posizione del reverse shock in IC 443 con quella prevista dai modelli evolutivi dei resti di supernova abbiamo ottenuto una stima del tempo trascorso dall'esplosione (~ 4000 anni). Dal confronto fra i valori di abbondanze osservate ed i modelli di nucleosintesi esplosiva, abbiamo poi mostrato come gli ejecta in IC 443 indichino chiaramente un meccanismo di esplosione di tipo core-collapse per la stella progenitrice, escludendo un'esplosione di una nana bianca (supernova di Tipo Ia).

Infine, abbiamo indagato la presenza di sovra-ionizzazione nel plasma post-shock, ipotizzata da alcuni lavori precedenti. I nostri dati mostrano soltanto un'evidenza marginale di sovra-ionizzazione che non ci permette di confermare inequivocabilmente questa ipotesi. Tutti questi risultati sono discussi in dettaglio in Troja et al. (2008, A&A, 485, 777).

L'analisi dell'emissione X ad alta energia di IC 443 ha mostrato come questo resto di supernova possa essere ascritto alla classe dei resti di supernova a morfologia-mista (*Mixed-morphology Supernova Remnants, MMSNR*) in cui parte dell'emissione X risulta associata agli *ejecta*. I modelli tradizionali di MMSNR, cioè resti di supernova con morfologia caratterizzata da un bordo luminoso in radio e piccata al centro nei raggi X, non prevedono la presenza di emissione X da ejecta, malgrado questa sia stata rivelata ormai in diverse sorgenti. Ci si chiede dunque se la presenza di ejecta sia una caratteristica comune dei MMSNR e se gli attuali modelli siano in grado di fornire previsioni valide anche per i MMSNR in cui, come in IC 443, il contributo dell'emissione X degli ejecta riscaldati dallo shock riflesso è non trascurabile.

Abbiamo pertanto analizzato osservazioni nei raggi X dei due resti di supernova mixed-morphology IC 443 e G166.0+4.3 confrontando i profili radiali delle loro proprietà fisico-chimiche con quelli previsti dai modelli di MMSNR. Per entrambi i resti di supernova abbiamo rivelato la presenza di abbondanze chimiche superiori a quelle previste per il mezzo interstellare, a conferma della presenza di ejecta (ricchi di Ne, Mg e Si in IC 443 e di S nelle regioni esterne di G166.0+4.3).

La nostra analisi ha mostrato che gli attuali modelli di MMSNR non riescono a spiegare in maniera consistente i profili radiali di densità e temperatura osservati per questi due resti di supernova. Il nostro lavoro (Bocchino et al. 2009, A&A, 498, 139) mostra dunque la necessità di sviluppare modelli più dettagliati di MMSNR che comprendano e descrivano il contributo degli ejecta alla struttura del resto di supernova.

4.2 Modelli di interazione shock-nube: emissione X, campo magnetico e Non-Equilibrio di Ionizzazione

Il nostro gruppo sta utilizzando il codice numerico FLASH nell'ambito della modellistica dei resti di supernova (SNR), con lo scopo di studiare la complessa dinamica dell'interazione tra uno shock di supernova e le disomogeneità del mezzo interstellare (ISM). Comprendere la fisica di tale interazione è uno dei problemi fondamentali nella dinamica del gas interstellare. Infatti, l'interazione tra shock e nubi di materiale del ISM gioca certamente un ruolo di primo piano nel determinare la struttura e la dinamica stessa del ISM, soprattutto delle sue componenti più calde, ed è responsabile della grande complessità morfologica dei SNR. Un ulteriore motivo di interesse nello studio della dinamica dell'interazione shock-nube è l'analisi del modo in cui il materiale processato durante l'esplosione di supernova si mescola con il plasma
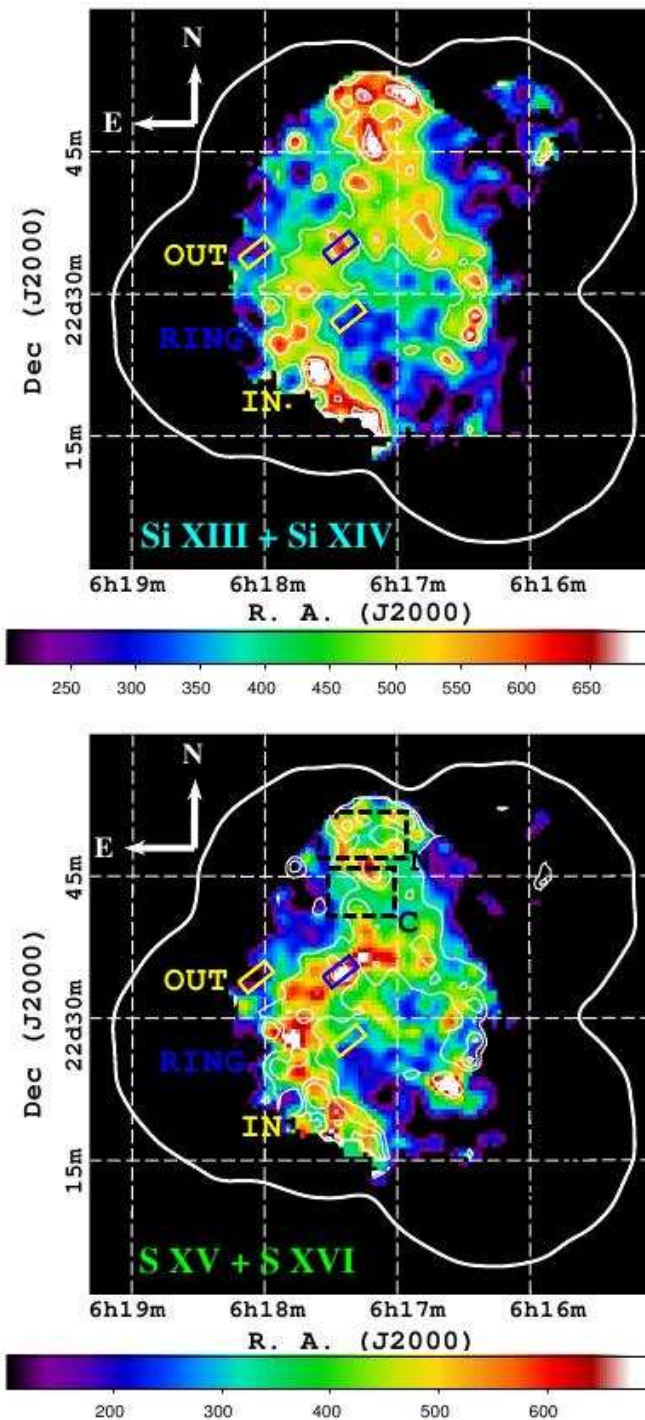
Figura 26: Mappa di larghezza equivalente (in eV) delle righe del silicio (*in alto*) e dello zolfo (*in basso*) nel resto di supernova IC 443.

interstellare. Tale punto è importante per determinare la composizione chimica iniziale delle stelle e dei sistemi planetari e, quindi, è un punto fondamentale nella problematica della formazione di pianeti ed, eventualmente, della nascita della vita.

La fisica dell'interazione shock-nube è piuttosto complessa coinvolgendo simultaneamente diversi effetti fisici: conduzione termica, perdite radiative, non equilibrio di ionizzazione etc.. Gli studi in questo campo si sono sviluppati parallelamente in due direzioni, che seguono approcci diversi: uno numerico, che ha permesso di descrivere in dettaglio la dinamica dell'interazione tra fronte d'urto e nubi interstellari (vedi ad esempio, Stone & Norman 1992, Klein et al. 1994), ma con poche predizioni confrontabili con i dati osservativi, ed un altro osservativo, in cui le osservazioni sono confrontate con stime generiche e globali basate su modelli molto semplificati (ad esempio, Hamilton & Sarazin 1984; White & Long 1991). Mancano quindi delle previsioni accurate e dettagliate, sia in senso morfologico che fisico, sull'emissione che deriva dalle interazioni shock-materia in ambienti fortemente disomogenei da confrontarsi con il crescente panorama osservativo.

4.2.1 Il ruolo del campo magnetico

Recentemente abbiamo analizzato l'interazione shock-nube in presenza di un campo magnetico ambientale per verificare il suo effetto sulla dinamica ed, in particolare, nell'inibire la conduzione termica in direzione normale alle linee di campo e nel favorire le instabilità termiche attraverso il confinamento di porzioni della nube (Orlando et al. 2008, ApJ 678, 274). A tal fine abbiamo condotto un programma di simulazioni MHD bidimensionali presso il CINECA e presso l'infrastruttura GRID del consorzio COMETA. Il nostro studio è focalizzato sul caso rappresentativo di uno shock con Mach 50 che investe una nube 10 volte più densa del mezzo circostante, per il quale la conduzione termica è il processo fisico dominante in assenza di campo magnetico. Per questo caso abbiamo considerato differenti configurazioni iniziali del campo magnetico ambientale e differenti valori del β (cioè del rapporto tra pressione del plasma e pressione magnetica) del plasma. In Fig. 27 presentiamo, come esempio, la distribuzione spaziale di densità di massa nel caso di campo magnetico inizialmente uniforme e con $\beta = 4$; la figura mostra l'evoluzione del sistema nei casi in cui il campo magnetico è orientato lungo l'asse X (pannelli in alto) oppure lungo l'asse Y (pannelli al centro), oppure lungo l'asse Z (pannelli in basso).

Il nostro studio ha mostrato che, in presenza di un campo magnetico ambiente, la conduzione termica è fortemente anisotropa e la sua efficienza viene, in generale, ridotta rispetto al caso non magnetizzato. Il fattore di riduzione dipende in modo critico dall'orientazione iniziale del campo magnetico ed è minimo quando il campo magnetico è inizialmente allineato con la direzione di propagazione dello shock. La conduzione termica anisotropa contribuisce a limitare la formazione di instabilità idrodinamiche che si formerebbero al bordo della nube, riducendo il mescolamento del materiale della nube con il mezzo circostante e preservando la nube dalla completa frammentazione. Dipendendo dalla configurazione iniziale del campo magnetico, la conduzione termica può determinare un significativo scambio di energia tra la nube ed il mezzo circostante più caldo che può portare al progressivo riscaldamento ed evaporazione della nube. Questo riscaldamento aggiuntivo può contrastare il raffreddamento radiativo di alcune parte della nube, prevenendo la formazione di instabilità termiche.

4.2.2 Emissione nei raggi X

Il nostro gruppo si è occupato dello studio dell'emissione nella banda X predetta dai modelli idrodinamici di interazione di shock di supernova con le disomogeneità del mezzo interstellare (Orlando et al. 2006, A&A, 457, 545). Il nostro scopo è stato di: 1) studiare la corrispondenza tra strutture modellate e strutture emittenti nella banda X; 2) esplorare due differenti regimi fisici in cui o la conduzione termica o le perdite radiative giocano un ruolo dominante, e 3) investigare gli effetti dei processi fisici presenti sull'emissione delle nubi investite dallo shock nei due differenti regimi. I primi risultati dello studio sono stati pubblicati in Orlando et al. (2006, A&A, 457, 545), dove si confrontano le mappe di emissività calcolate direttamente sulla base dei modelli idrodinamici che includono gli effetti delle perdite radiative da parte di plasma
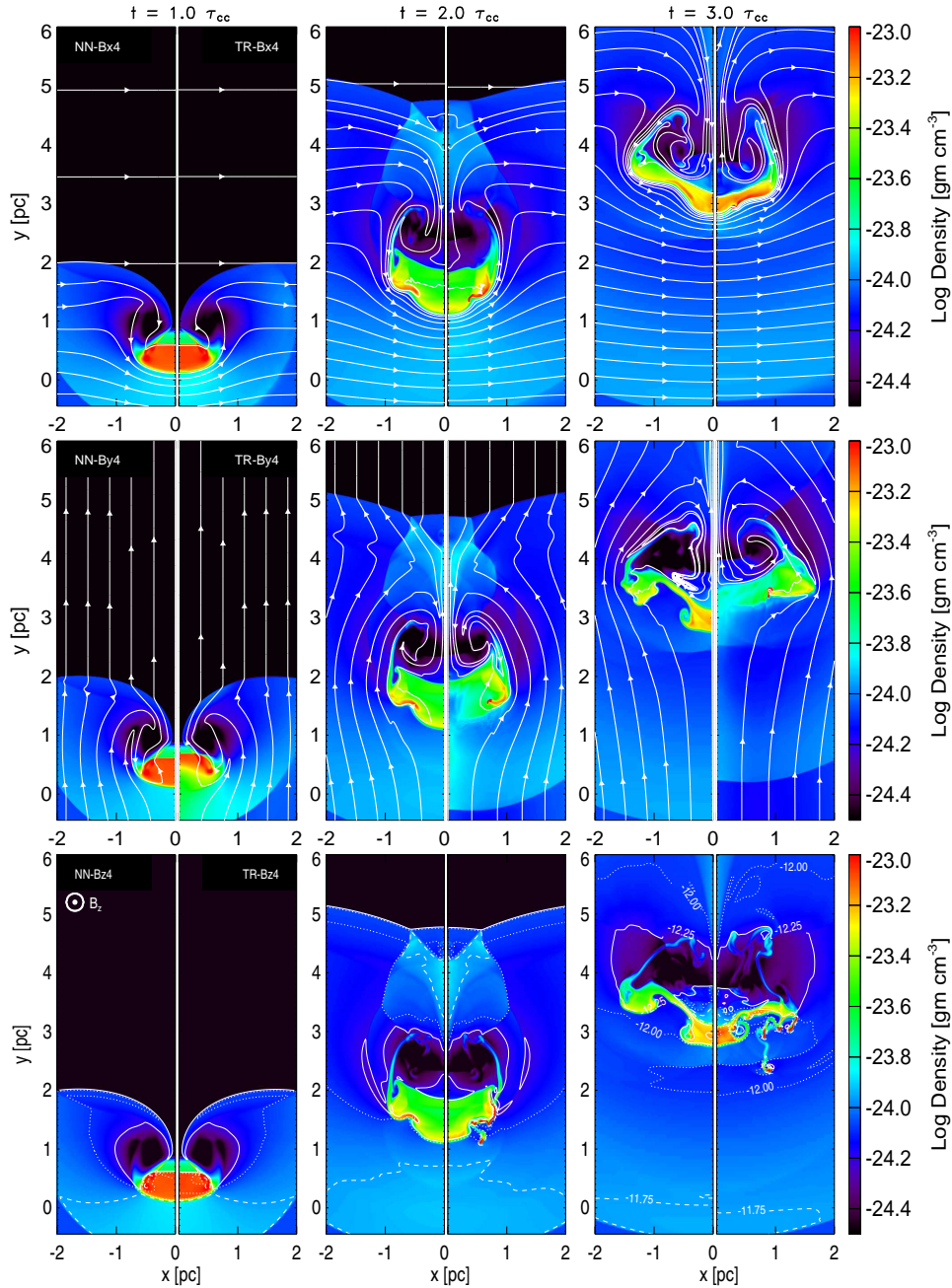
Figura 27: Distribuzione di densità di massa, in scala logaritmica, nel modello di interazione shock-nube, in assenza di conduzione termica e perdite radiative (semi-pannelli a sinistra) ed in presenza di conduzione termica e perdite radiative (semi-pannelli a destra) a tre diversi tempi durante l'evoluzione (Orlando et al. 2008, ApJ 678, 274). Il campo magnetico è inizialmente uniforme con $\beta = 4$ ed orientato lungo l'asse X (pannelli in alto), o lungo l'asse Y (pannelli al centro), o lungo l'asse Z (pannelli in basso). Nei primi due casi i pannelli riportano le linee di campo magnetico, nell'ultimo caso i pannelli riportano i contorni di $\log(B^2/8\pi)$.

otticamente sottile e della conduzione termica, e dove abbiamo esplorato due casi caratterizzati da diverso numero di Mach dello shock primario: il caso con $M = 30$ (corrispondente ad una temperatura post-shock $T_{psh} \approx 1.7$ MK) in cui la dinamica della nube investita dallo shock è dominata dal raffreddamento radiativo, ed il caso con $M = 50$ (corrispondente a $T_{psh} \approx 4.7$ MK) dominato dalla conduzione termica. Dalle simulazioni, abbiamo sintetizzato l'emissione nella banda X attesa, usando i codici spettrali disponibili in letteratura.

Abbiamo concluso che la conduzione termica e le perdite radiative determinano l'insorgere di due diverse fasi del materiale della nube post-shock: una componente densa e fredda dominata dalla perdite radiative che emette a basse energie, ed una componente molto calda e diffusa che emette nella banda X. La conduzione termica rende l'immagine X della nube dopo lo shock più piccola, più diffusa e visibile su tempi più brevi di quella che si osserverebbe se la conduzione termica fosse totalmente inibita.

Il prossimo passo è quello di convolvere le mappe di emissione con la risposta strumentale dei moderni rivelatori della banda dei raggi X, come i satelliti *XMM-Newton* e *Chandra*. Infatti, è importante passare dalle mappe di emissione incidenti a quelle effettivamente osservate dagli strumenti, per verificare se è possibile ricavare della diagnostica accurata sulle proprietà del plasma scioccato dall'onda d'urto. Inoltre, è stato altresì previsto di sintetizzare alcuni spettri estratti da regioni specifiche ed effettuare alcune procedure di fitting spettrale per stabilire il grado di precisione con il quale si possono misurare i parametri del plasma scioccato. In una fase successiva, prevediamo di arrivare ad un vero e proprio confronto con osservazione effettuate dai satelliti *XMM-Newton* e *Chandra*, sia proprietarie (Large Project sulle parti centrali del resto di supernova della Vela, collaborazione con il Center for Astrophysics di Cambridge, USA, P.I. P. Slane) che di archivio (sul resto di supernova del Cigno).

4.2.3 Deviazioni dall'equilibrio di ionizzazione

La complessa dinamica del sistema caratterizzata da flussi di plasma attraverso gradienti di temperatura e da improvvise variazioni di temperatura porta certamente a significativi effetti di non equilibrio di ionizzazione. Per valutare tali effetti, abbiamo calcolato con FLASH le frazioni di popolazione di quattro elementi: Ossigeno, Neon, Magnesio e Ferro. Molte righe di emissione di tali elementi sono ben osservate con gli strumenti di ultima generazione (in particolare *Chandra* ed *XMM-Newton*) e pertanto sono molto importanti per la diagnostica del plasma.

Un modo molto utile per evidenziare dove e sino a che punto le deviazioni dall'equilibrio di ionizzazione sono importanti è quello di considerare la differenza tra le frazioni di popolazione di un elemento calcolate fuori equilibrio, N_{nei}, e le corrispondenti frazioni valutate assumendo l'equilibrio, N_{eq}, normalizzate alla loro somma:

$$f = \frac{N_{nei} - N_{eq}}{N_{nei} + N_{eq}} \,. \tag{1}$$

Valori negativi di f indicano zone in cui la frazione di popolazione di un dato elemento sono sovrastimate assumendo l'equilibrio, e l'opposto è vero per valori positivi di f.

La Fig. 28 mostra, come esempio, la differenza normalizzata f calcolata per l'O VIII per quattro differenti tempi durante l'evoluzione shock-nube nel caso di uno shock con Mach 50 che investe una nube 10 volte più densa del mezzo circostante; in questo esempio non consideriamo gli effetti di conduzione termica e perdite radiative. Assumendo l'equilibrio di ionizzazione, la frazione di popolazione dell'O VIII è sovrastimata nelle zone indicate in rosso e sottostimata nelle zone di colore blu. La figura mostra chiaramente che gli effetti di non equilibrio di ionizzazione sono importanti durante tutta l'evoluzione dell'interazione shock-nube. In particolare lo shock trasmesso nella nube porta a deviazioni dall'equilibrio di ionizzazione nel gas della nube mentre le instabilità idrodinamiche sono responsabili di effetti di NEI
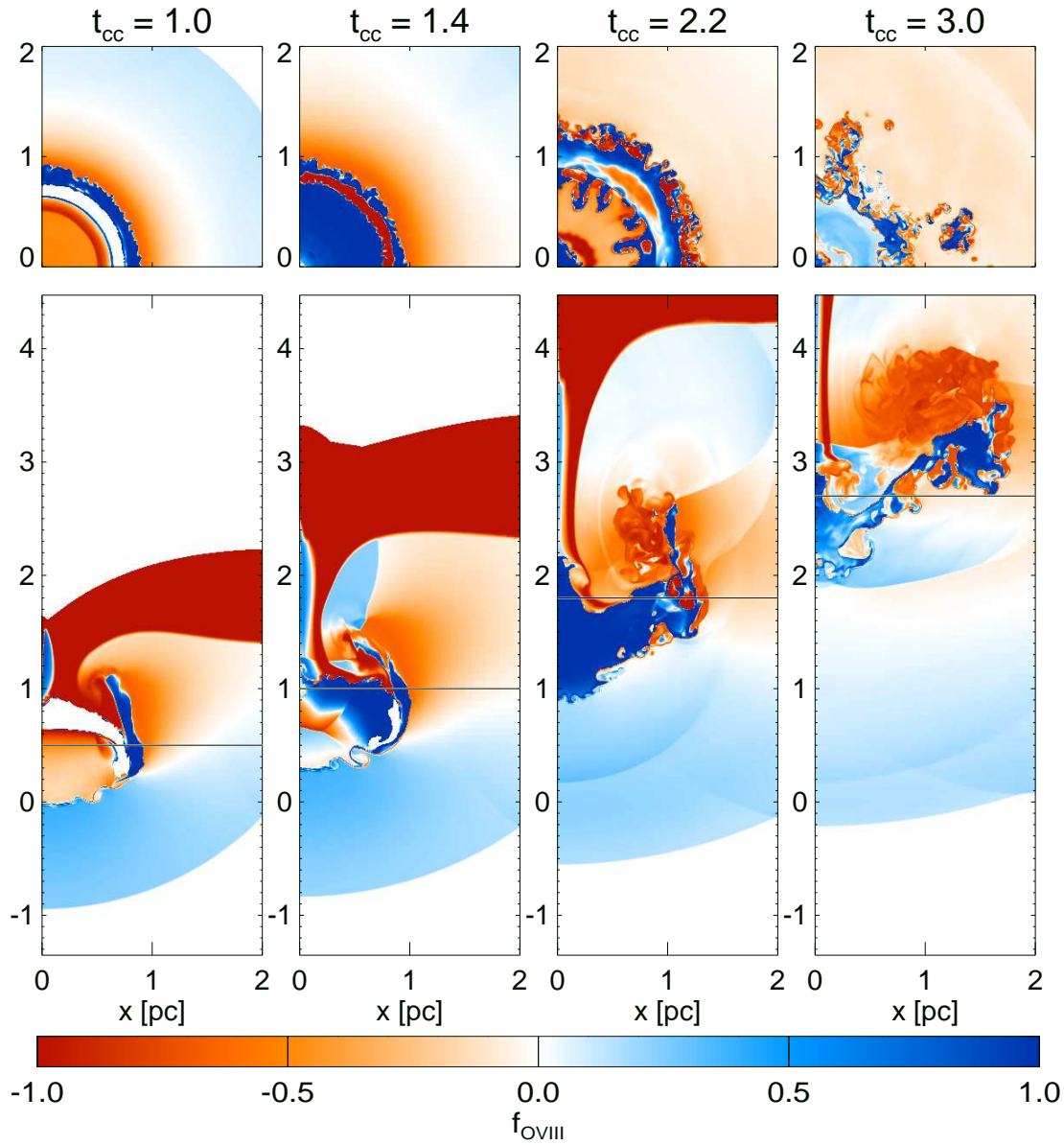
Figura 28: Evoluzione della differenza normalizzata f_{OVIII} (vedi testo) campionata ai quattro tempi indicati in unità di 5.4×10^3 anni. I pannelli in alto sono sezioni sul piano xy, i pannelli in basso sezioni sul piano xz. Le linee nere nei pannelli in basso indicano l'altezza z corrispondente alle sezioni xy.

al bordo stesso della nube. Tenere conto di questi effetti ci consentirà di sintetizzare in modo realistico l'emissione in righe e bande selezionate dello spettro X e di fare previsioni dettagliate da confrontare con le osservazioni.

Ultimata l'esplorazione dello spazio delle soluzioni e compreso il ruolo dei vari effetti fisici nel determinare la dinamica del sistema, il nostro programma di lavoro prevede il confronto dettagliato tra i risultati dei modelli e le osservazioni. Tale confronto sarà fatto sintetizzando in modo realistico l'emissione in righe e bande selezionate dello spettro X tenendo conto di eventuali deviazioni dall'equilibrio di ionizzazione.

4.3 Processi di accelerazione nei resti di supernova: SN 1006

Nel corso del 2008 abbiamo avviato un progetto per lo studio dei processi di accelerazione di particelle nei fronti di shock dei resti di supernova. Questo progetto coinvolge, oltre ai ricercatori dell'INAF-OAPa, diversi ricercatori internazionali, fra cui il Dott. O. Petruk dell'Università nazionale di Lviv (Ukraina), che è stato ospite dell'Osservatorio Astronomico di Palermo per due mesi, in qualità di esperto di modelli teorici di accelerazione di particelle. Il nostro approccio prevede l'analisi di osservazioni nei raggi X, e nella banda radio (con la collaborazione delle Dott.sse G. Dubner e G. Castelletti dell'Istituo de astronomia y Fisica del Espacio di Buenos Aires), lo sviluppo di modelli idrodinamici e la sintesi dell'emissione multi-banda da confrontare con le osservazioni. Il progetto è tuttora in corso e sono stati già prodotti diversi articoli: i) Miceli et al. 2009, A&A 501, 239, ii) Petruk et al. 2009, MNRAS 393, 1034; iii) Petruk et al. 2009, MNRAS 395, 1467; iv) Petruk et al. 2009, MNRAS, in press.

È ormai noto che le particelle a più alta energia presenti nell'universo vengono accelerate nei fronti di shock attraverso il processo di accelerazione di Fermi al primo ordine. Nei resti di supernova in cui questo processo è efficiente ed in cui le particelle sono accelerate ad energie superiori al TeV è previsto si osservi emissione X da sincrotrone. L'emissione non-termica nei raggi X di particelle ultra-relativistiche è stata rivelata per la prima volta nel resto della supernova SN 1006, fornendo così una prova diretta della connessione fra SNR ed accelerazione di raggi cosmici.

Non tutti i resti di supernova presentano emissione X non-termica, ma, quando ciò accade (ed il processo di accelerazione è particolarmente efficiente), ci si aspetta che una frazione significativa dell'energia dello shock venga ceduta alle particelle accelerate. Si prevede che ciò modifichi significativamente le caratteristiche termodinamiche e la struttura stessa del resto di supernova (mezzo post-shock più denso e più freddo, minore distanza fra ejecta e shock principale, etc). Pertanto anche lo studio del'emissione termica può avere importanti potenzialità diagnostiche per rivelare la presenza e l'efficienza del processo di accelerazione. Il laboratorio ideale per lo studio di questi processi è il resto di supernova SN 1006. Infatti questo SNR è caratterizzato da una intensa emissione X non-termica, si sta evolvendo in un mezzo tenue e omogeneo (per via della sua alta latitudine galattica) ed ha un'età nota con estrema precisione.

Abbiamo condotto un'analisi accurata di tutte le osservazioni di archivio di SN 1006 effettuate col telescopio per i raggi X *XMM-Newton*. Obiettivo di tale analisi è la descrizione della distribuzione spaziale delle proprietà fisiche e chimiche del plasma in prossimità del fronte di shock, dove gli effetti dell'accelerazione di particelle sono più rilevanti. Ci siamo occupati sia della componente termica che di quella non-termica della radiazione X (emissione di sincrotrone delle particelle accelerate) per studiare gli effetti del processo di accelerazione sul plasma responsabile dell'emissione X.

A questo fine abbiamo condotto un'analisi spettrale spazialmente risolta su un set di 30 regioni localizzate sul bordo di SN 1006. I risultati dell'analisi spettrale mostrano che l'emissione termica è associata agli ejecta riscaldati dal reverse shock e che la composizione chimica e la temperatura degli ejecta presentano significative disomogeneità. In particolare gli ejecta a sud-est risultano più caldi e più ricchi di silicio rispetto a quelli a nord-ovest. Questo risultato suggerisce che l'esplosione che ha generato SN 1006 possa non essere stata perfettamente isotropa.

Abbiamo inoltre usato i risultati dell'analisi spettrale per derivare il contributo dell'emissione di sincrotrone nella banda $0.5 - 0.8$ keV e, sottraendo il contributo non-termico, abbiamo così prodotto un'immagine della pura componente termica (cioè degli ejecta). La Fig. 29 mostra le differenze fra l'immagine totale (emissione termica+sincrotrone) e quella termica nella banda $0.5 - 0.8$ keV.

L'immagine termica ci permette di tracciare la posizione della discontinuità di contatto e di calcolare la sua distanza dal fronte di shock. Ci si aspetta che in presenza di efficienti processi di accelerazione di particelle questa distanza sia ridotta rispetto a quanto previsto dai modelli standard di evoluzione di SNR (in questi casi si parla di shock *modificato*). Abbiamo quindi confrontato il profilo azimutale della
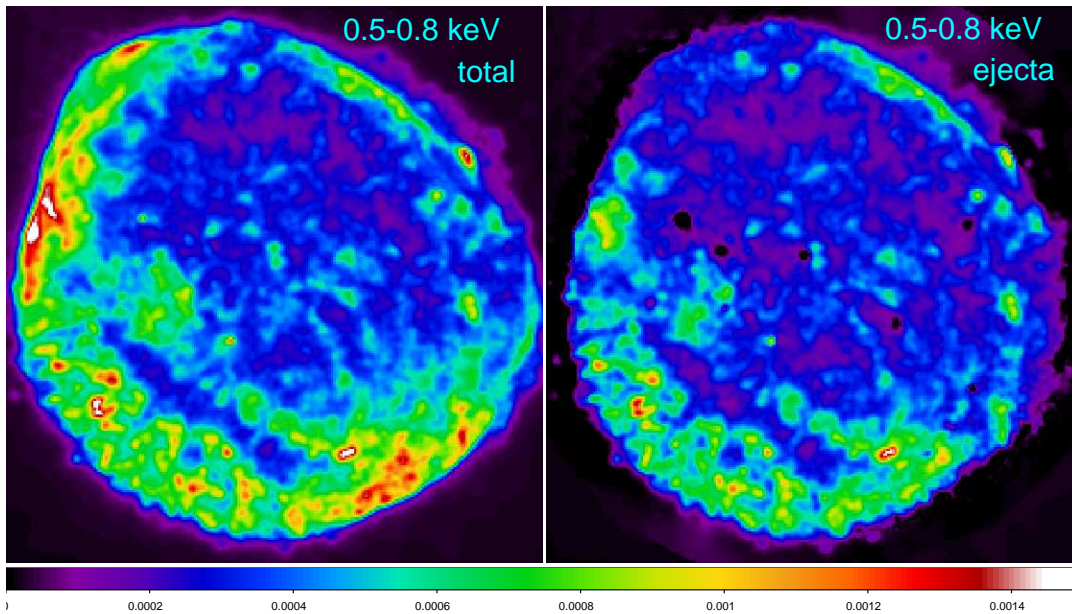
Figura 29: *A sinistra:* Immagine del tasso di conteggi nei raggi X di SN 1006 nella banda $0.3-0.5$ keV. *A destra:* Immagine del tasso di conteggi della sola componente termica dell'emissione X nella banda $0.3-0.5$ keV. In entrambe le immagine le dimensioni del pixel sono di $8'' \times 8''$.

distanza fra discontinuità di contatto e shock principale con quella prevista da un modello di evoluzione di SNR con shock non-modificato. Il modello idrodinamico adottato è un modello 3-D implementato con l'ausilio del codice idrodinamico parallelo FLASH ed il cui setup è stato accuratamente preparato per riprodurre SN 1006. Dal confronto fra modello e osservazioni abbiamo mostrato che la distanza osservata è sempre significativamente inferiore di quella prevista dal modello. Il modello di shock non-modificato non è dunque adeguato per descrivere le caratteristiche osservate in SN 1006. Abbiamo così dimostrato che in SN 1006 lo shock è modificato ovunque (per ulteriori dettagli, si veda Miceli et al. 2009, A&A 501, 239).

4.4 Evoluzione delle nebulose plerioniche in resti di supernova compositi

Le giovani pulsar isolate sono sempre circondate da una nebulosa risultato dell'interazione fra il vento di particelle relativistiche espulse dalla magnetosfera della pulsar ed il resto di supernova circostante. Tale nebulosa viene indicata con il termine di Pulsar Wind Nebula (PWN), ed è stata indicata storicamente come una categoria a sè stante di resto di supernova. Le PWNe, altrimenti note con il termine "plerioni", sono un laboratorio per lo studio dei plasmi relativistici magnetizzati. In particolare, l'evoluzione degli elettroni che emettono radiazione di sincrotrone dentro una PWN ed il confronto fra studi numerici ed osservazioni rappresentano un campo di frontiera della ricerca astrofisica, nel quale il nostro gruppo ha cominciato a prendere parte.

Negli ultimi anni lo sviluppo di codici MHD multidimensionali e relativistici ha permesso di stabilire una relazione fra le caratteristiche morfologiche della nebulosa (come strutture a toro o a getto) con le proprietà del vento relativistico (livello di magnetizzazione, isotropia). Gli sforzi attuali sono proiettati nella direzione della creazione di mappe spettrali simulate di PWN con varie caratteristiche, al fine di un confronto dettagliato con le osservazioni, che potrebbe rivelarsi molto utile nella validazione dei modelli. Tale confronto è stato possibile sinora solo nel caso della Crab, che è considerata il prototipo delle PWNe,

ma è anche un oggetto con delle caratteristiche molto peculiari (ad esempio il flusso X è ordini di grandezza superiore a quello di altre PWNe).

Inoltre, recentemente è stata posta l'attenzione sull'interazione fra PWN e resto di supernova circostante. Infatti, in un ristretto numero di oggetti è stato possibile rivelare i segni dell'espansione della bolla plerionica dentro i frammenti stellari scaturiti dall'esplosione. Lo studio di questa regione di interazione consente di ottenere delle stime indipendenti dei parametri della PWN, come ad esempio l'età, contribuendo così ad una comprensione più completa di questi oggetti. In caso emblematico è costituito dalla PWN G21.5-0.9, la cui rivelazione della shell, congiuntamente alla realizzazione di un modello consistente di interazione PWN-shell, ha permesso di valutare con precisione lo stadio evolutivo di questo oggetto (Bocchino et al. 2005, A&A, 442, 539). Recentemente, il nostro gruppo si è occupato di un altro oggetto molto interessante, la PWN G54.1+0.3.

4.4.1 G54.1+0.3

G54.1+0.3 è la nebulosa plerionica che si avvicina di più alle caratteristiche della Crab: questo è il motivo per cui Lu et al. (2002, ApJ, 568, L49) l'hanno soprannominata "il cugino stretto della Crab". Usando dei dati *Chandra*, questi autori hanno mostrato la presenza di una struttura toroidale ben definita a circa 10" dalla pulsar, ed anche una elongazione della nebulosa nella direzione est-ovest, che potrebbe indicare la presenza di getti. Da questi dati, la dimensione della nebulosa nella banda X e di 1 arcmin, ma le parti più esterne di essa sono molto deboli, ed il bordo non è ben definito. Nella banda radio, invece, la nebulosa sembra essere più grande, circa 1.5 arcmin, che corrispondono a circa 1.5 pc ad una distanza di 5 kpc. È importante capire sino a quanto questa differenza fra le dimensioni radio ed X sia reale (dunque dovuta alle perdite di sincrotrone degli elettroni emittenti), oppure un artefatto della limitata sensibilità delle osservazioni nella banda X.

Confrontando le mappe spettrali e di luminosità nella banda dei raggi X ed in quella radio, si possono estrarre informazioni importanti sullo spettro di sincrotrone in diverse regioni di questa nebulosa, e si può seguire la distribuzione spaziale e spettrale degli elettroni che emettono tale radiazione. Lu et al. (2002) hanno effettuato alcuni fit spettrali in alcune regioni dentro G54.1+0.3, ed hanno mostrato la presenza di alcune variazioni spettrali all'interno delle nebulosa. Purtroppo, un'analisi dettagliata e quantitativa mancava in letteratura, perché richiede una sensibilità superiore ed una attenta sottrazione di tutte le componenti di background, incluso il contributo derivante dalla diffusione dei fotoni da parte delle particelle di polvere del mezzo interstellare.

Un altro motivo di interesse è l'assenza di una shell attorno a questo plerione. È ragionevole attendersi che tale shell sia presente in tutti plerioni, e che sia solo una questione di sensibilità delle osservazioni il fatto che non ci sia in G54.1+0.3. Infatti, una shell è stata scoperta in G21.5-0.9 (Bocchino et al. 2005), in G0.9+0.1 (Porquet et al. A&A, 401, 197), in G11.2-0.3 e G292.0+1.8. Le esperienze passate hanno dimostrato che l'osservazione dei plerioni nella banda X con gli strumenti attualmente in orbita si è dimostrata efficace nella rivelazione di shell precedentemente sconosciute, anche in presenza di alto assorbimento interstellare. Dunque, anche se G54.1+0.3 sembra essere in radio un plerione "purò' (cioè senza la shell), ci sono delle ottime ragioni per cercare la shell mancante. Gli oggetti in cui sono rivelati la pulsar centrale (come in G54.1+0.3, recentemente scoperta), la nebulosa plerionica e la shell tutte insieme, sono considerati molto importanti ai fini del confronto con i modelli evolutivi dei resti di supernova compositi.

Per questo motivo abbiamo avviato una campagna di osservazioni di questo oggetto con il satellite dell'Agenzia Spaziale Europea *XMM-Newton* e con il satellite dell'Agenzia Spaziale Giapponese (JAXA) *SUZAKU*. L'osservazione *SUZAKU* è stata condotta il 30.10.2007 per un tempo di esposizione di 84 ks per ognuno dei 3 CCD XIS, durante il quale sono stati raccolti circa 45000 fotoni. L'osservazione *XMM-Newton* è stata condotta il 26.09.2006, per un totale di 41 ks per ognuno degli strumenti PN, MOS1 e
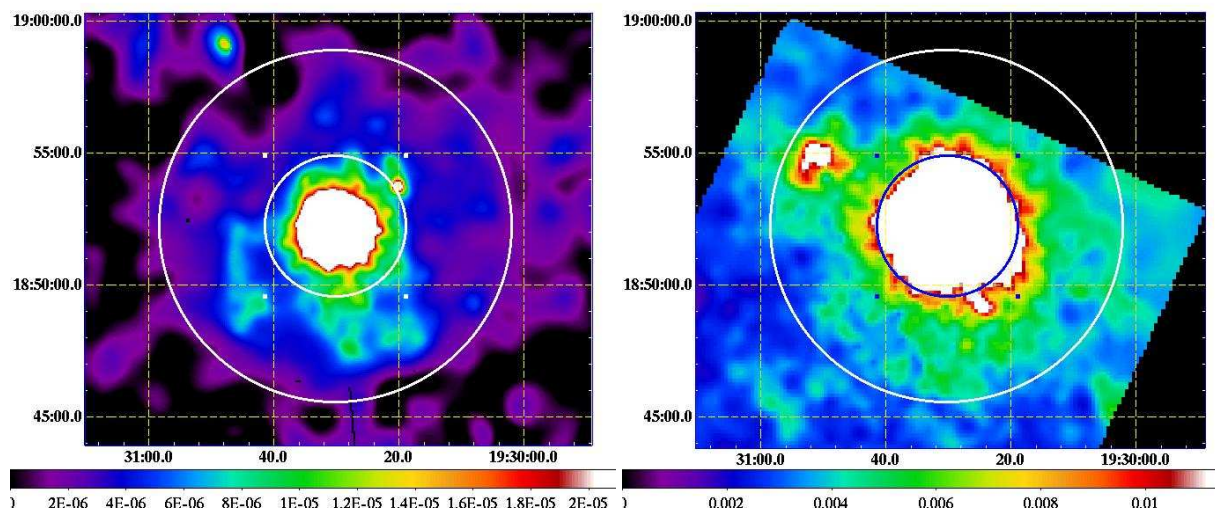
Figura 30: *A sinistra:* Immagine del tasso di conteggi nei raggi X della nebulosa plerionica G54.1+0.3 nella banda $1-7$ keV ottenuta con il satellite *XMM-Newton*, sovrapponendo le immagini di tutti gli strumenti della camera EPIC. *A destra:* Immagine di G54.1+0.3 ottenuta con il satellite giapponese *SUZAKU*, sovrapponendo le osservazioni di tutte le camere CCD nella banda $1-7$ keV.

MOS2. L'analisi delle osservazioni è ancora in corso ed in Fig. 30 mostriamo alcuni risultati iniziali. I dati raccolti dagli strumenti della camera EPIC di *XMM-Newton* (cioè il PN, MOS1 e MOS2) sono stati combinati per sfruttare al massimo l'area efficace dello strumento, tenendo conto delle differenze in sensibilità ed efficienza di ognuno degli strumenti facente parte della combinazione. L'immagine risultante è mostrata nel pannello a sinistra della Fig. 30, dove il cerchio bianco più interno rappresenta l'estensione radio del plerione (circa 2 arcmin di raggio). Risulta evidente la presenza di un alone di emissione X diffusa fino ad una distanza dalla pulsar di circa 6 arcmin, marcata dal cerchio bianco più esterno. Tale emissione era precedentemente sconosciuta ed ha un valore di luminosità superficiale circa 300 volte minore delle regioni più brillanti immediatamente vicine alla pulsar (saturate in bianco nell'immagine mostrata). La struttura dell'alone non sembra essere a simmetria sferica, ma presenta una parte più luminosa nella zona sud del plerione, lasciando intravedere una strutture più fine fatta di strutture più piccole delle dimensioni di 1 arcmin. Non c'è traccia di emissione radio associata con l'alone X appena scoperto. La relativa bassa luminosità dell'alone ha richiesto la realizzazione di una verifica indipendente della sua esistenza, e per questo motivo abbiamo combinato le osservazioni con tutti gli strumenti a bordo di *SUZAKU* per realizzare l'immagine mostrata nel pannello a destra di Fig. 30, con una procedura simile a quella usata per *XMM-Newton* per la massimizzazione del rapporto segnale sul rumore e la correzione degli effetti di vignetting dello strumento. L'immagine *SUZAKU* mostra anch'essa la presenza di emissione diffusa attorno al plerione, sebbene con alcune differenze morfologiche dovute alle diverse caratteristiche della funzione di risposta alle sorgenti puntiformi (PSF) e le differenze in sensibilità dei due strumenti, e dunque conferma in pieno l'esistenza dell'alone. Attualmente stiamo verificando l'origine fisica dell'alone, ed in particolare stiamo effettuando dei confronti con i modelli di diffusione dei raggi X da parte delle particelle di polvere interstellare, in modo da verificare se l'emissione osservata è intrinseca alla sorgente oppure no. È inoltre prevista un'analisi spettrale completa dell'alone e, qualora si dovesse verificare essere la shell finora sconosciuta di G54.1+0.3, il confronto con modelli evolutivi di resti di supernova compositi per stabilire l'età dell'oggetto.

Parte II

Ricerca e sviluppo tecnologico e studi di Missioni Spaziali

5 Ottiche e rivelatori per astronomia in raggi X

Presso la X-Ray Astronomy Calibration and Testing Facility (XACT), ormai pienamente operativa presso la nuova sede di via G.F. Ingrassia 31, oltre alle tradizionali attività di calibrazione di strumentazione per missioni spaziali è attiva una linea di ricerca per lo sviluppo di strumentazione per la focalizzazione e rivelazione di raggi X per impiego astronomico. Per quanto riguarda la focalizzazione, sono attualmente in fase di sviluppo dei sistemi ottici ad incidenza radente in cui la superficie riflettente è costituita da un film plastico opportunamente rivestito e tenuto in posizione da una struttura metallica leggera. Tali sistemi sono caratterizzati dall'essere estremamente leggeri e dai costi di realizzazione molto contenuti.

Nel campo dei rivelatori, l'attività è concentrata sullo sviluppo di rivelatori criogenici a microcalorimetro con sensore al germanio drogato, ed in particolare sulla realizzazione di matrici di microcalorimetri ottenute con tecnologia planare del tipo di quella utilizzata per la realizzazione di dispositivi microelettronici. La Fig. 31 mostra la nuova beamline principale della facility XACT, lunga circa 35 metri.

5.1 Sviluppo e Calibrazione di Ottiche per Raggi X

La procedura tradizionale per ottenere ottiche per raggi X consiste nella superpolitura o termo-formatura di vetro o nel replicare mandrini superpoliti. Il costo per costruire ottiche in vetro o metallo è molto elevato. Per questa ragione, già da alcuni anni nell'ambito di una collaborazione tra il SAO, Cambridge, MA, l'INAF-OAPA, l'UNIPA-DSFA, ed il DNSC di Copenhagen, stiamo studiando una nuova tecnologia di ottiche per raggi X ad incidenza radente basata sull'utilizzo di film plastici sottili prodotti industrialmente e successivamente rivestiti con singoli o multistrati riflettenti. Questa tecnologia può trovare applicazioni in missioni di Astronomia a raggi X in cui sia necessaria un'elevata area di raccolta ma non è richiesta un'elevatissima risoluzione angolare (es: spettroscopia, studi di variabilità e polarimetria di sorgenti puntiformi), oltre che in diverse applicazioni di laboratorio. La collaborazione si è estesa negli ultimi anni coinvolgendo anche ricercatori dell'INAF-OAB e dell'INAF-IASFPa

Film plastici sottili vengono prodotti in quantità per numerose applicazioni industriali. Originariamen-

Figura 31: La beamline principale (35 metri) nella nuova sede della facility XACT

Figura 32: Confronto tra le superfici di alcuni film plastici ottenute con un microscopio Nomarski dell'INAF-OAB. *A sinistra:* campione di PEEK (PolyEtherEtherKetone); il film è prodotto dalla Victrex plc (UK) con il marchio APTIV. *Al centro:* campione di PAR (PolyARylate); polimero amorfo prodotto in talia dalla Ferrania Technologies s.p.a. con il marchio AryLite. *A destra:* campione di LCP (liquid crystalline polymer); si tratta del film Vectra® prodotto dalla Ticona, una sussidiaria della Celanese AG.

te il polietilene tereftalato (PET) è stato scelto come materiale plastico per costruire ottiche a raggi X. I fogli di PET provenivano da una speciale linea di produzione di pellicole radiografiche della ditta americana Estman KODAK. Recentemente, abbiamo iniziato uno studio comparativo su film plastici ad alte prestazioni (Fig. 32).

Lo studio preliminare ha mostrato che campioni di polyarylate (PAR), un polimero amorfo prodotto in Italia dalla Ferrania Technologies S.p.A. con il nome commerciale di AryLite, hanno caratteristiche di micro-rugosità migliori di altri film plastici analizzati. È chiaro comunque che i prodotti esistenti in commercio non vengono normalmente realizzati con caratteristiche di alta qualità superficiale. La Ferrania ha mostrato interesse nella produzione di film plastici aventi una migliore qualità superficiale.

Rivestimenti di alta qualità su vari campioni di film di PET sono stati depositati con successo presso le facility del DNSC e del CfA, a strato singolo o multistrato di carbonio (C), silicio (Si), nichel (Ni), tungsteno (W) e platino (Pt). Inoltre, la riflettività nei raggi X monitorata per alcuni rivestimenti non ha mostrato alcun apprezzabile degrado nell'arco di 1 anno.

Immagini nei raggi X soffici prodotti al piano focale da alcuni prototipi di queste ottiche sono state ottenute utilizzando la beam-line principale della XACT facility dell'INAF-OAPA, lunga circa 35 metri nella sua nuova configurazione. Due diversi sistemi di montaggio di gusci concentrici sono stati fino ad ora

Figura 33: Prototipi di ottiche a geometria cilindrica basate su film plastici sottili. A sinistra un ottica di diametro esterno 175 mm contenente 20 gusci concentrici di film plastico rivestito di Tungsteno; alcune delle astine di contenimento della forma sono visibili. A destra un singolo guscio di foglio plastico rivestito in alluminio montato nel canale praticato sui raggi della ruota.
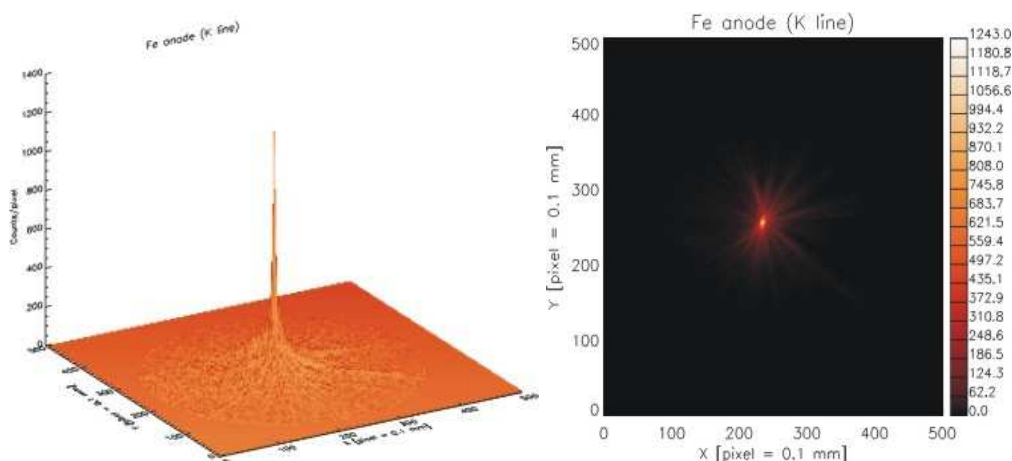
Figura 34: Immagine di una sorgente X puntiforme di energia circa 6.5 keV prodotta da un'ottica cilindrica con 14 gusci concentrici.

realizzati e studiati analizzando le immagini a raggi X prodotte al piano focale. Nella prima tecnica due ruote a raggi sono unite insieme da un cilindro centrale. Piccoli fori di precisione sono praticati nei raggi per alloggiare delle astine metalliche a sezione circolare, le quali definiscono la forma della superficie esterna di ciascun guscio (Fig. 33, pannello di sinistra). Nella seconda tecnica, il guscio di plastica viene alloggiato all'interno di un canale ricavato nei raggi di una delle due ruote. Il canale è sufficientemente largo da contenere un piccolo strato di resina epossidica (Fig. 33, pannello di destra).

L'analisi delle immagini ottenute con diversi prototipi di ottiche consente di valutare i diversi contributi che determinano l'allargamento della PSF, quali ad esempio la qualità dei materiali plastici utilizzati, e la struttura meccanica di montaggio dei gusci. I risultati fino ad ora ottenuti hanno permesso di dimostrare che si possono ottenere ottiche a molti gusci concentrici a singola riflessione con una FWHM $<$ 30 arcsec e una HPD compresa tra 2 e 4 arcmin. A titolo di esempio, Fig. 34 mostra l'immagine prodotta dalla focalizzazione di una sorgente puntiforme di energia circa 6.5 keV con un'ottica cilindrica con 14 gusci concentrici e diametro esterno di 20 cm realizzata con la prima delle due tecniche di montaggio sopra descritte.

Il profilo radiale di questa immagine viene ben modellato assumendo una fluttuazione random normalmente distribuita con $\sigma = 180''$ dell'angolo di riflessione dei fotoni sui gusci delle ottiche ed un disallineamento random uniformemente distribuito tra 0 e 10 dei 14 gusci (Fig. 35).

La possibilità di ottenere lunghi fogli di plastica sottile consente di costruire ottiche per raggi X con geometria a spirale. Invece di annidare vari gusci chiusi, ciascuno con il suo diametro, si può avvolgere un unico foglio in modo continuo, ottenendo un'ottica avente un'area efficace e delle caratteristiche di vignettatura simili a quelle di un'ottica classica a gusci concentrici. La differenza consiste nell'approssimare l'immagine di una sorgente puntiforme con una corona circolare. Il concetto di spirale è particolarmente interessante poiché la sua realizzazione non richiede la costruzione di alcun mandrino e può essere ottenuta a costi molto bassi.

Utilizzando un codice di ray-tracing abbiamo simulato le prestazioni di due geometrie: l'approssimazione a spirale di cilindri concentrici e di doppi coni concentrici. I risultati hanno mostrato che per alcune applicazioni l'approssimazione a spirale è un'adeguata alternativa. Ad esempio, da un'analisi di ray-tracing risulta che un telescopio per raggi X a doppio cono (approssimazione di un ottica Wolter I) con focale da 6 metri e diametro di 1 metro, realizzato con l'approssimazione a spirale di gusci concentrici, produce una immagine di una sorgente puntiforme ad infinito di dimensioni inferiori alle tipiche aberrazioni introdotte
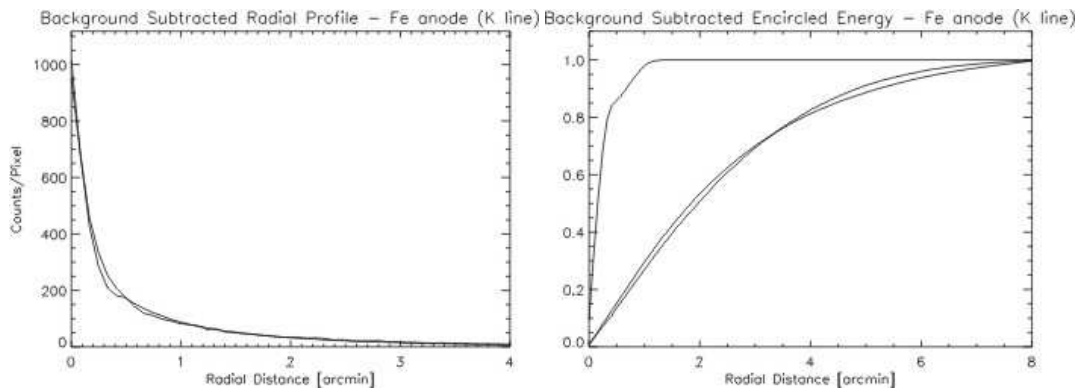
Figura 35: Profilo radiale della densità di conteggi (pannello di sinistra) e profilo radiale dell'integrale dei conteggi, normalizzato al totale, (pannello di destra) per l'immagine di una sorgente X puntiforme di energia circa 6.5 keV messa a fuoco dall'ottica cilindrica (linea continua). Le curve a tratteggio rappresentano le curve di best-fit ottenute utilizzando il raytracing che include la dimensione finita della sorgente. Nel pannello di destra e' anche mostrata a tratto-punto la curva che si dovrebbe ottenere con un'ottica cilindrica ideale.
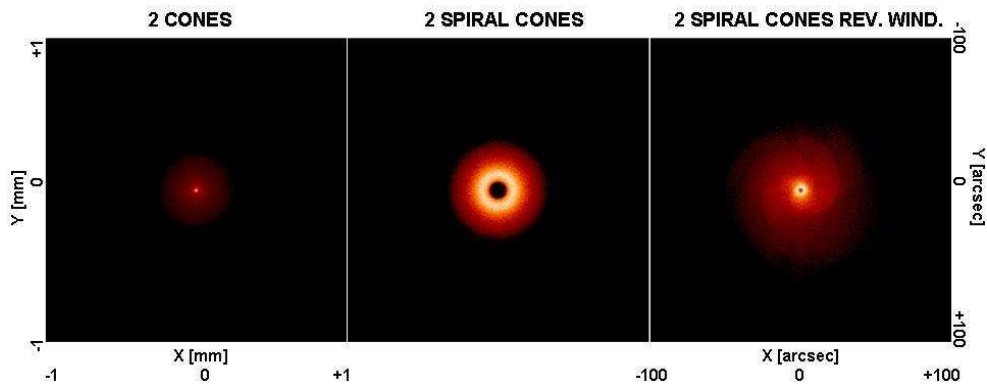
Figura 36: Confronto tra le immagini prodotte da un ottica classica a doppio cono con gusci concentrici (pannello di sinistra) e le immagini prodotte da ottiche a doppio cono con approssimazione a spirale di gusci concentrici realizzate avvolgendo le due spirali nello stesso verso di rotazione (pannello di centro) o in verso opposto (pannello di destra).

dalle attuali tecnologie a fogli sottili di vetro o alluminio (HEW = 1.2 arcmin).

Abbiamo anche esplorato vantaggi e svantaggi di avvolgere il primo ed il secondo cono a spirale in direzioni opposte in modo da compensare parzialmente l'aberrazione introdotta dall'approssimazione spirale di coni concentrici. La Fig. 36 mostra, come risultato di un'analisi di ray-tracing, l'immagine di una sorgente puntiforme in asse ad infinito prodotta al piano focale di un un'ottica classica a doppio cono con gusci concentrici (pannello di sinistra), a confronto con le immagini prodotte da un ottica a doppio cono realizzata con l'approssimazione a spirale di gusci concentrici, nei due casi in cui il primo ed il secondo cono a spirale vengano avvolti nella stesso verso di rotazione (pannello di centro) o in verso opposto (pannello di destra). Avvolgendo le due spirali in verso opposto di rotazione si ha un restringimento della parte centrale dell'immagine con parziale riempimento del buco, ma allo stesso tempo si ha un allargamento delle ali ed una riduzione di area efficace.

Ottiche a spirale cilindrica di piccole dimensioni sono state realizzate e già utilizzate come "relay

lens” in applicazioni di laboratorio. Immagini nei raggi X sono state ottenute presso la XACT facility di INAF-OAPA con una piccola ottica a spirale cilindrica di diametro esterno 50 mm (Fig. 37).

Figura 37: Fotografia della piccola ottica a spirale cilindrica le cui proprietà d’immagine nei raggi X sono state studiate presso la XACT facility dell’INAF-OAPA.
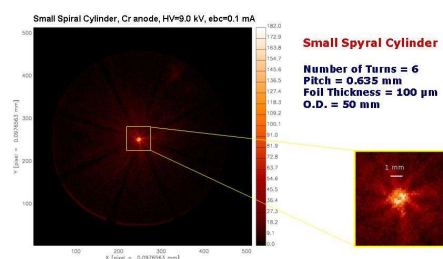
Figura 38: Immagine di una sorgente puntiforme posta ad 8 m dall’ottica a spirale cilindrica ottenuta presso la XACT facility dell’INAF-OAPA.

L’immagine di una sorgente di raggi X puntiforme posta a 8 metri di distanza è mostrata in Fig. 38. Essa mostra la forma a corona circolare attesa.

5.2 Sviluppo di microcalorimetri per la rivelazione di raggi X

L’utilizzo dei microcalorimetri per la rivelazione di raggi X è basato sulla misura dell’aumento di temperatura di un assorbitore quando quest’ultimo assorbe un fotone X e ne converte in calore l’energia. Caratteristica comune a questa classe di rivelatori è la bassisisma temperatura cui essi lavorano (alcune decine di mK), necessaria a far si che le fluttuazioni statistiche del contenuto termico del rivelatore siano sufficientemente piccole da consentire una misura accurata dell’energia del fotone rivelato. Diverse sono invece le tecnologie utilizzate per la realizzazione del sensore atto a misurare l’aumento di temperatura conseguente all’assorbimento di un fotone. La scelta operata in tal senso dal nostro gruppo ha privilegiato l’utilizzo di un sensore al germanio drogato con trasmutazione neutronica (Ge NTD). Tale scelta è motivata dai presupposti di semplicità, riproducibilità, facilità di gestione e buone prestazioni che i sensori Ge NTD potenzialmente offrono. I microcalorimetri con sensore di Ge NTD sono attualmente costruiti con tecniche
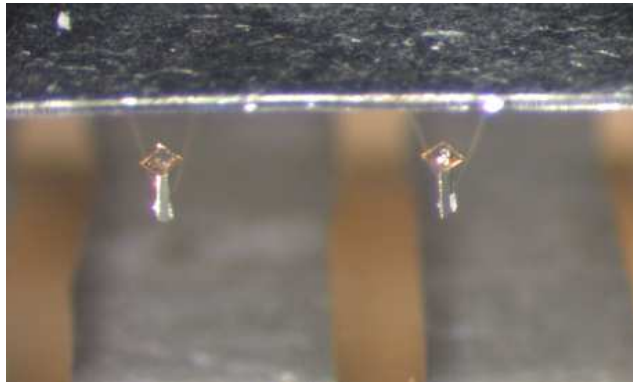
Figura 39: Microcalorimetri in germanio a singolo pixel.
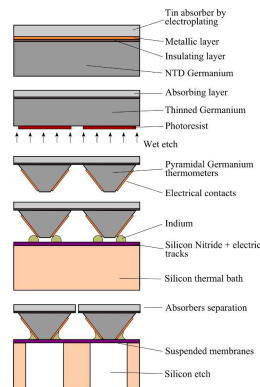
Figura 40: Schema dei processi planari proposti per la realizzazione di matrici di microcalorimetri in germanio.

micro-meccaniche che, sebbene siano adeguate per la realizzazione di rivelatori a singolo pixel o a basso numero di pixel, difficilmente possono essere applicate alla produzione su grande scala di matrici con un grande numero di pixel (> 1000). In collaborazione con il DIEET dell'UNIPA si è avviato lo studio di una tecnologia planare per la realizzazione di matrici di microcalorimetri al Ge NTD con grande numero di pixel. L'impiego di tale tecnologia garantirà un'elevata uniformità nelle prestazioni dei dispositivi all'interno di una matrice e consentirà la produzione di matrici con costi e tempi di realizzazione molto contenuti rispetto a quanto permesso dall'attuale tecnica costruttiva. La Fig. 39 mostra dei microcalorimetri a singolo pixel realizzati con tecniche micromeccaniche.

Le fasi principali del processo che stiamo sviluppando sono mostrate in Fig. 40. Su una fetta di germanio drogata con trasmutazione neutronica vengono depositati un film dielettrico ed un film metallico. Sul film metallico viene quindi accresciuto uno strato di stagno per deposizione galvanica. La fetta di germanio viene ridotta di spessore mediante lappatura dal lato opposto a quello dello stagno. I sensori con geometria a tronco di piramide a base quadrata vengono ottenuti dalla fetta di germanio sottoponendola ad un processo micro-fotolitografico, impiegando un sistema laser per la definizione delle maschere ed un attacco chimico isotropo profondo. Su due facce opposte di ogni piramide vengono realizzati i contatti elettrici, collegati in seguito mediante saldatura ad indio alle piste elettriche depositate sulla struttura di supporto. Infine vengono realizzate delle membrane sospese per ridurre l'accoppiamento termico tra la struttura ed i sensori e vengono separati gli assorbitori mediante taglio a fascio laser.

Il drogaggio del germanio, effettuato tramite trasmutazione neutronica per ottenere la massima uni-

Figura 41: Stagno galvanico su Ge+SOG+Cr+Cu (sinistra) e stagno galvanico su oro (destra).

formità possibile, deve avvenire all'interno di un reattore nucleare in cui si abbia produzione di neutroni termici. Un set di campioni di germanio è stato inviato al Nuclear Reactor Laboratory del MIT, Cambridge, dove è stato effettuato il processo di drogaggio. Abbiamo drogato i diversi campioni in modo differente, con un intervallo di drogaggio piuttosto ampio, al fine di potere selezionare il valore ottimale in base alla conducibilità elettrica a temperature criogeniche. I campioni si trovano attualmente al MIT, in attesa che la radioattività rientri entro i limiti di sicurezza per il trasporto.

Per realizzare lo strato dielettrico depositato sul germanio, la cui funzione è quella di impedire che gli assorbitori metallici cortocircuitino i sensori, abbiamo impiegato dello Spin-On Glass (SOG). Il SOG è una soluzione di acido silicico che può essere depositato uniformemente per spinning, ovvero facendo ruotare il campione ad elevata velocità dopo avere deposto su esso un certo quantitativo del materiale da depositare. Abbiamo messo a punto il processo di deposizione ed il processo termico a cui deve essere sottoposto il SOG per assumere una consistenza vetrosa e proprietà simili a quelle del biossido di silicio, avendo cura che le operazioni non danneggiassero il substrato di germanio. Il film metallico sul dielettrico, depositato per evaporazione e-beam, funge da materiale di base conduttivo per l'accrescimento galvanico dello stagno. Abbiamo sperimentato diversi materiali ed individuato infine due coppie di metalli adatte allo scopo. Tali coppie sono Cr-Cu e Ti-Au. Il cromo aderisce bene al SOG e funge da biadesivo per il rame. Il rame è chimicamente compatibile con l'accrescimento dello stagno. Tuttavia, il cromo direttamente esposto alla soluzione elettrolitica si dissolve; ciò comporta il lift-off del rame e dello stagno su di esso depositato in corrispondenza ai bordi del campione ed ai punti in cui sono presenti difetti nel film di rame. Per ridurre questo effetto, abbiamo messo a punto un trattamento chimico protettivo per il cromo basato su immersione in perossido di idrogeno. La coppia titanio-oro ha il vantaggio che il titanio non è sensibile al processo galvanico e che l'oro, essendo un metallo nobile, non ha la stessa tendenza del rame a formare composti indesiderati sulla superficie che possono inficiare la qualità del deposito galvanico. È già stata dimostrata la possibilità di accrescere stagno galvanico su oro e si è verificata l'elevata uniformità dei film risultanti. Sono attualmente in fase di svolgimento accrescimenti galvanici di stagno su multistrati Ge-SOG-Ti-Au per potere effettuare test di stress meccanici a temperature criogeniche. In Fig. 41 sono mostrati: stagno galvanico su Ge+SOG+Cr+Cu (pannello di sinistra) e stagno galvanico su oro (destra).

Per ridurre lo spessore della fetta di germanio mantenendo una superficie con finitura di alta qualità, abbiamo utilizzato una tecnica di lappatura e lucidatura basata su abrasione per mezzo di sospensioni di polveri di allumina e colloidi di silice. Il processo è molto sensibile alla contaminazione, in quanto particelle presenti nell'ambiente possono facilmente rigare i campioni. Inoltre la giusta sequenza di polveri da utilizzare ed i corretti parametri di processo da impiegare sono fondamentali per ottenere buoni risultati. La procedura messa a punto consente di assottigliare i campioni con un buon controllo dello spessore,
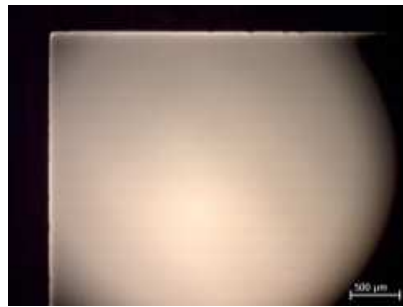
Figura 42: Campione di germanio assottigliato e lucidato.
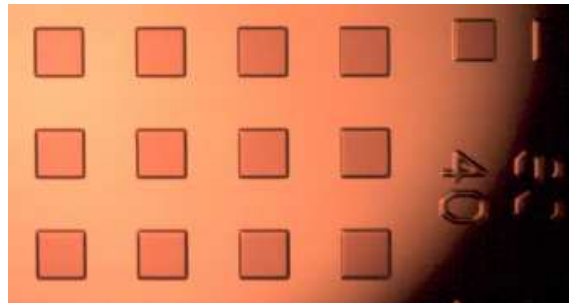
Figura 43: Maschera in resist su una fetta di germanio. I quadratini hanno dimensioni 200x200 μ^2).
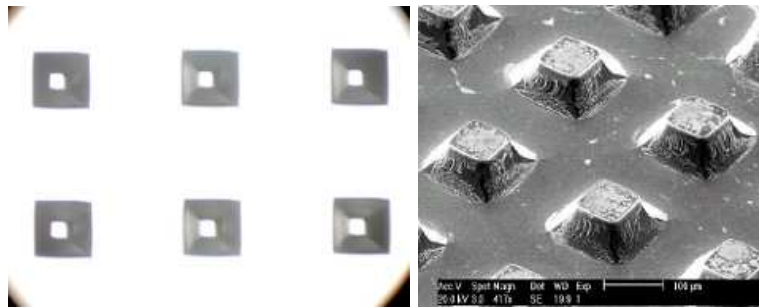
Figura 44: Tronchi di piramide in germanio risultanti dal processo micro-fotolitografico; a sinistra immagine ottenuta al microscopio ottico, a destra immagine ottenuta al microscopio a scansione elettronica.

ottenendo superfici lucide prive di difetti e graffi, come quella mostrata in Fig. 42.

La fase micro-fotolitografica consiste nel definire una maschera di fotoresist mediante esposizione selettiva a luce laser UV e nell'effettuare attraverso questa un attacco chimico del germanio. L'attacco chimico utilizzato, a base di acido fosforico e perossido di idrogeno, è di tipo isotropo, ovvero attacca il germanio sia verticalmente sia lateralmente. Ciò comporta un undercut al di sotto della maschera con una rimozione del materiale a circa $45°$, con la conseguente formazione di strutture a forma di tronco di cono a base piramidale. Questa geometria è stata scelta per i vantaggi che offre in termini di area di contatto con l'assorbitore e di facilità nella realizzazione dei contatti elettrici. La deposizione dei contatti elettrici verrà effettuata prossimamente, così come la deposizione di micro-colonnine di indio per effettuare la saldatura dei sensori alle piste di interconnessione elettrica. In Fig. 43 è mostrata una delle maschere ottenute con processo microlitografico, mentre in Fig. 44 sono mostrati i tronchi di piramide risultanti dal processo.

6 Studi di future Missioni Spaziali

6.1 La missione IXO

IXO (International X-ray Observatory) è il concetto di una missione congiunta NASA/ESA/JAXA per realizzare un grande osservatorio spaziale nei reggi X. Essa nasce dalla processo di fusione dello studio di missione XEUS (ESA/JAXA) selezionata come una delle missioni L (Large) nell'ambito del primo AO del programma Cosmic Vison di ESA, e dallo studio di missione Constellation-X da molti anni all'attenzione della comunità USA e indicata come missione ad elevata priorità nell'ultimo US Decadal Survey. IXO è una missione caratterizzata da una elevata area di raccolta (3 m^2 a 1 keV), buona risoluzione angolare (5 arcsec), sensibilità nella banda fra 0.3 e 40 keV, capacità di ottenere immagini, spettri ad elevata risoluzione e di misurare la polarizzazione dell'emissione.

Le caratteristiche di IXO sono tali da poter rispondere a questioni aperte ai confini delle nostre attuali conoscenze, quali: che cosa avviene nella vicinanza dei buchi neri? Come crescono i black-hole supermassicci? Come si forma la struttura a grande scale dell'Universo? Quali sono le connessioni fra questi fenomeni?

Grazie alle sue capacità IXO permetterà di far progredire la nostra conoscenza sostanzialmente in tutti campi dell'astrofisica extra-galattica e galattica, inclusi la fisica ed i processi che accadono nelle regioni di formazione stellare e nei resti di supernovae, che sono i due principali temi a cui sono interessati i ricercatori di OAPA.

Il contributo dei ricercatori di OAPa è principalmente di tipo scientifico/manageriale, e si è concretizzato, in una prima fase, nella partecipazione allo XSST (XEUS Study Team) di ESA e, successivamente alla ri-focalizzazione della attività di ESA verso IXO, nella partecipazione alle attività dello IXO (international) Science Team. Inoltre ricercatori di OAPA prendono parte alle attività per IXO finanziate dall'Agenzia Spaziale Italiana (ASI) al team italiano di IXO. Tale attività includono sia attività scientifiche che attività di sviluppo di specchi e strumentazione di piano focale che sono state e verrano condotte in vista delle prossime selezioni delle missioni L previste nel corso del 2010, sia come risultato dello US Decadal Survey attualmente in corso che dei prossimi passi del programma Cosmic Vision di ESA.

6.2 La missione WFXT

Sin dagli anni '90 R. Giacconi, Nobel per la Fisica per il pioneristico sviluppo dell'Astronomia a raggi X, ha proposto l'idea, e ribadito l'esigenza, di una missione per Astronomia X, basata su un innovativo telescopio X a grande campo di vista ed elevata uniforme risoluzione angolare (concepito da Burrows, Giacconi & Burg nel 1992), per poter condurre survey nei raggi X allo scopo di selezionare popolazioni di AGN e ammassi di galassie per studiare le proprietà dell'Universo lontano.

Tale idea è stata proposta nel corso degli ultimi 15-20 anni in risposta ad AO di NASA, di ESA e di ASI. Recentemente essa è stata ri-proposta alla NASA e alla valutazione del nuovo US Decadal Survey: la mission Wide Field X-ray Telescope consiste in 3 telescopi a raggi X a grande campo di vista, con un campo di vista di 1 grado quadro e una risoluzione angolare uniforme sul campo di vista migliore di 10 arcsec (con un goal di 5). Con un'area di raccolta circa 10 volte quella di Chandra ed un campo di vista 10 volte più ampio, WFXT permette di eseguire survey estremamente profonde che permetteranno di scoprire e caratterizzare una popolazione estremamente grande di AGN e ammassi di galassie a grande redshift. In 5 anni di vita WFTX permetterà di eseguire 3 survey extra-galattici: $\sim$ 20.000 gradi quadri con una sensibiità 500 volte meglio e una risoluzione angolare 20 volte meglio di quella del ROSAT All Sky Survey; il secondo si estenderà sopra $>$ 3000 gradi quadri alla tipica sensibilità di Chandra ed XMM; il terzo si estenderà $>$ 100 gradi quadri ($>$ 1000 l'area dei Chandra Deep Fields), alla migliore sensibilità raggiunta con Chandra. Da questi surveys, si genererà un campione di oltre 5×10^5 ammassi di galassie

a $z \sim 2$, e sarà possibile caratterizzare la fisica del mezzo intra-ammasso per un campione significativo degli stessi, e un campione di oltre 10^7 AGN a $z > 6$, con una sostanziale frazione con spettri X sufficienti a distinguere quasar oscurati e non-oscurati.

Questi survey permetteranno di affrontare domande fondamentali su come i buchi neri supermassivi crescono e influenzano l'evoluzione della galassia ospite e su come gli ammassi si formano ed evolvono, inoltre permetteranno di ottenere un vasto campione di ammassi massicci che possono essere utilizzati in studi cosmologici basati sulla funzione di massa degli ammassi, la frazione di massa del gas e gli spettri di potenza.

Nel corso della sua vita operativa è previsto che WFXT mappi sistemi astrofisici che coprono svariati gradi del cielo incluso regioni di formazione stellare nell'intorno del Sole, le nubi di Magellano, e l'ammasso della Vergine con sensibilità mai raggiunta, permettendone studi che oggi sono preclusi. Infine i dati raccolti con i survey di WFXT permettanno di studiare la popolazione stellare della Galassia, ed in particolare di studiare l'andamento del tasso di formazione stellare nell'ultimo miliardo di anni.

Ricercatori di OAPa sono stati coinvolti nello studio di missioni basate su un WFXT sin dagli anni '90, hanno partecipato in ruoli di primo piano alla proposta WFXT nell'ambito del programma di piccole missioni ASI della fine degli anni '90, nel solco di questo "antico" interesse essi hanno recentemente (ri-)preso parte alle attività scientifiche della missione WFXT e per la quale esiste un crescente interesse della comunità italiana.

6.3 La missione Simbol-X

La missione Simbol-X era una missione italo-francese sensibile alle alte energie in una banda molto larga fra 0.5 keV e 70-80 keV con capacità di immagine. Si trattava di una missione innovativa sia dal punto di vista tecnologico che scientifico, infatti permetteva di studiare fenomeni ad alta energia, finora inaccessibili in un'ampia tipologia di sorgenti. I ricercatori di Palermo erano coinvolti nella missione sia dal punto di vista scientifico che tecnologico. L'interesse scientifico si è manifestato attraverso la partecipazione ai gruppi di lavoro scientifici e in particolare al JSMG (Joint Scientific Mission Group) e si è concentrato sullo studio della rivelabilità dell'emissione non termica nelle corone delle stelle attive, in particolare durante i brillamenti. L'osservazione di emissione non termica nelle stelle è un'importante diagnostica dei meccanismi di accelerazione ed è quindi fondamentale per lo sviluppo dei modelli di riscaldamento coronale.

Dal punto di vista tecnologico il ruolo dei ricercatori dell'OAPa ha riguardato la progettazione e l'ottimizzazione delle coperte termiche del modulo ottico. In un sistema in volo in formazione, come Simbol X, il telescopio e' esposto allo spazio da ambedue le estremità. Per mantenerne costante ed uniforme la temperatura di lavoro è necessario utilizzare delle coperte termiche, cioè dei sottili fogli di materiale plastico capaci di schermare la radiazione termica mantenendo al contempo un'elevata trasparenza ai raggi X. L'esperienza sviluppata presso XACT sui filtri a grande area per rivelatori in raggi X, è di grande rilievo per il disegno e i test di questi elementi.

Dopo avere superato fra il 2007 (in Francia) e il 2008 (in Italia) la fase A, la missione è stata cancellata nel primi mesi del 2009 dal CNES, l'agenzia spaziale francese. La comunità italiana sta capitalizzando sull'esperienza maturata per proporre ad ASI un'altra missione, già precedentemente studiata in Italia, con caratteristiche differenti, ma con capacità scientifiche simili, se non migliori. Il gruppo di OAPa precedentemente coivolto in Simbol-X sta contribuendo a questa nuova proposta.

6.4 La missione PLATO

La missione PLATO fa parte del programma Cosmic Vision di ESA, ed è una delle missioni M (medie) selezionata per gli studi di fattibilità. I proponenti includono ricercatori di tutta Europa.

PLATO rivelerà, con il metodo dei transiti, pianeti extra-solari con masse fino a quella terrestre in regioni abitabili intorno a stelle di tipo solare. La caratteristica principale del progetto, che rende unica la missione nel contesto della ricerca dei pianeti extra-solari, è che osserverà un grande numero di stelle brillanti ($m_v \sim 11 - 12$) per cui saranno possibili le osservazioni spettroscopiche di follow up necessarie per determinare la massa dei pianeti scoperti. Le osservazioni di PLATO renderanno possibile anche la misura accurata della massa, raggio ed età delle stelle parenti, necessarie per la determinazione delle proprietà planetarie. Le stelle più brillanti del campione saranno poi dei target ideali per le prossime missioni dedicate alle osservazioni delle atmosfere planetarie.

Il contributo dei ricercatori di OAPa è principalmente di tipo scientifico, e si concretizza nella partecipazione al PSST (PLATO Science Study Team) di ESA e nella partecipazione alle attività del PLATO Science Consortium (le cui attività in Italia sono finanziate da ASI), in questa fase, principalmente per lo studio e ottimizzazione dei campi stellari da osservare.

6.5 La missione Solar Orbiter

Solar Orbiter, una missione di classe M candidata tra le sei che fanno parte del programma spaziale "Cosmic Vision" della European Space Agency, è stata progettata con un'orbita ellittica il cui perielio raggiungerà 0.23 AU, permettendo di ottenere immagini del sole con elevata risoluzione spaziale ad oggi non esistente e misure in situ molto vicine al Sole. L'inclinazione dell'orbita rispetto al piano equatoriale é prevista variare durante la missione fino a raggiungere 38 gradi dal piano dell'eclittica permettendo l'osservazione delle regioni polari e la parte del sole non visibile dalla Terra. La missione è stata progettata allo scopo di studiare l'attività solare tramite osservazioni remote ed in situ. In particolare, gli obiettivi scientifici delle osservazioni remote si possono riassumere nei seguenti punti:

1. esplorare a tutte le latitudini l'energetica, la dinamica e le strutture a piccola scala della atmosfera solare;
2. verificare la teoria della dinamo solare attraverso l'osservazione ad alte latitudini del campo magnetico.

D'altra parte le misure in situ saranno mirate a:

1. determinare le proprietá dinamiche e le interazioni del plasma, dei campi e delle particelle nelle regioni vicine al Sole;
2. studiare le relazioni tra la superficie solare e la parte piú interna dell' eliosfera.

Tra gli strumenti della missione, la comunitá italiana ha proposto il coronografo METIS (Multi Element-Telescope for Imaging and Spectroscopy), PI E. Antonucci, che permetterá di ottenere immagini della corona simultaneamente nel visibile e nell'ultravioletto al fine di studiare, ad elevata risoluzione spaziale e temporale, la struttura e la dinamica della corona solare a distanze eliocentriche da 1.3 a 3.0 (da 1.86 a 4.1) raggi solari durante la minima (massima) distanza dell'orbita. Una regione, questa, cruciale per stabilire la connessione tra i fenomeni dell'atmosfera solare e la loro evoluzione nella eliosfera. Il gruppo di OAPA è parte del team di METIS ed in particolare la Dr. Ciaravella ha il ruolo di Coronal Investigation Scientist.

Parte III
Calcolo Numerico Massiccio ed elaborazione dati

7 Rete di calcolo

7.1 Hardware

Il Centro Elaborazione Dati dell'Osservatorio Astronomico di Palermo garantisce tutti i servizi necessari per il funzionamento di un centro di ricerca costituito quale entità autonoma. Si hanno così servizi di posta elettronica (SMTP), DNS, NIS, HTTP, di backup dati, di routing e sicurezza perimetrale (*firewall*), di supporto per il calcolo scientifico, l'usuale gestione dei sistemi di lavoro personale (scientifico e amministrativo) ed infine la gestione per il calcolo scientifico anche su piattaforme HPC (*High Perfomance Computing*).

Il parco macchine è costituito da una dozzina di server, per i servizi generali e il calcolo scientifico, da circa settanta stazioni di lavoro personali ed infine da tre *cluster* distinti per il calcolo parallelo. Questa struttura utilizza una rete locale (LAN), vedi Fig. 45, in tecnologia ethernet gigabit con dorsale in fibra ottica, per l'interconnessione tra gli elaboratori. Sono presenti sia sistemi operativi unix (Linux), essenzialmente volto all'utilizzo in ambito scientifico, che Microsoft Windows.

La principale risorsa ad uso della ricerca è costituita da un server con 16 core AMD Opteron dotato di una potenza di calcolo teorica di circa 32 Gflops .

I servizi generali di database, NIS, DNS, DHCP, SMTP e HTML sono erogati da server distinti dotati di sistema operativo Linux su architetture dual core. Lo storage è gestito mediante l'utilizzo di due SAN (*Storage Area Network*), costituite server biprocessore (con sistema operativo Linux) due *controller* HP MSA 1000 e diversi boxes per *hard disk* HP MSA20 contenenti complessivamente un totale di circa 12 TB replicati.

Da ultimo gli *application server* Microsoft Windows, virtualizzati, sono ospitati in un server ad otto core in ambiente Linux e sono acceduti mediante servizi di teminale remoto.

Un server offre il contenuto degli archivi astronomici ottici DSS1 e, nella banda di energia X, Einstein, EXOSAT e una base dati costituita dai prodotti della pipeline di analisi sviluppata da ricercatori di OAPA e del CfA sulla missione ROSAT, strumento PSPC.

Circa 50 PC sono connessi alla rete e utilizzati come stazioni di lavoro con sistema operativo Linux; altri venti dotati di Windows XP sono adoperati principalmente per scopi amministrativi/contabili e per la gestione della biblioteca, oltre che come terminali X-windows.

I servizi di stampa sono erogati da 10 stampanti laser B/W, 4 stampanti laser a colori, un sistema di stampa digitale B/W per grandi volumi, uno a colori ed infine una stampante a colori per grandi formati.

La sede centrale dell'Osservatorio è attraversata da una dorsale Ethernet gigabit in fibra ottica che fa capo a due switch ad alte performances, a questi apparati sono attestati gli switch di piano connessi a loro volta in tecnologia Ethernet gigabit su rame. La sede distaccata del laboratorio raggiunge quella principale attraverso un collegamento realizzato mediante un ponte laser a 100 Mbit/s.

La sede storica dell'Istituto è collegata all'Università di Palermo attraverso un sistema di ponti ottici a 100 Mbit/s e ai laboratori di via Ingrassia mediante un ponte radio a 108 Mbit/s che è in grado di operare anche un backup del link ottico. Il collegamento alla rete GARR, dedicato e attualmente a 2Mbit/s ma in via di aggiornamento mediante l'attivazione di un link in fibra ottica, fa uso, per la parte di competenza dell'Istituto, di un router Cisco 2800. I servizi di sicurezza perimetrale utilizzano un sistema di firewalling CISCO che consente l'implemantazione di politiche di *intrusion detection and prevention*.
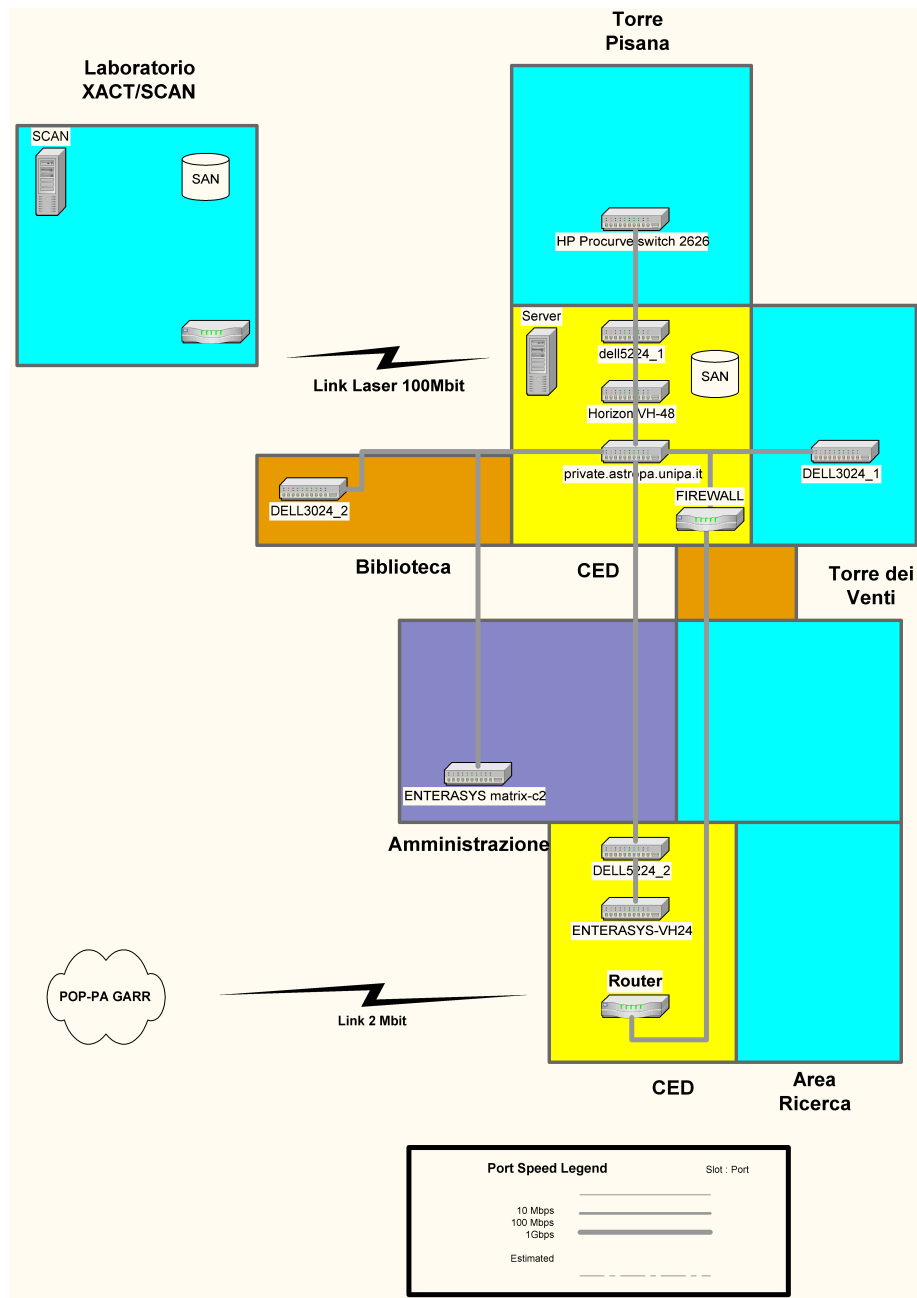
Figura 45: Rappresentazione schematica della rete locale dell'Osservatorio Astronomico di Palermo.

7.2 Software

Sulla rete di elaboratori dell'OAPA sono accessibili e sono mantenute una serie di strumenti di analisi di immagini astronomiche basata su una vasta collezione di software astronomico come IDL, IRAF, MIDAS, XANADU, CIAO, SAS, etc; sono inoltre disponibili sistemi commerciali di gestione di database relazionali (INGRES e SYBASE) che vengono utilizzati per la gestione delle banche dati astronomiche discusse in questo stesso documento. Ci sono inoltre alcune installazioni di database relazionali non commerciali (MySQL) che vengono usate per piccoli progetti specifici (ad esempio le attivita' connesse con i referaggi delle proposte del Telescopio Nazionale Galileo). È inoltre disponibile il software per l'analisi statistica avanzata Splus.

Sono infine disponibili un pacchetto di programmi che permettono la simulazione di osservazioni X con rivelatori a immagine utilizzando diverse possibili ottiche, una libreria di applicazioni per IDL, chiamata *Analysis System for Astrophysical Plasmas* (ASAP), sviluppata per l'analisi, la sintesi e la rappresentazione dettagliata di modelli teorici di plasmi astrofisici visti attraverso una ampia serie di rivelatori nei raggi X ed EUV, e infine un innovativo software per la rivelazione di sorgenti X, inizialmente sviluppato per l'analisi scientifica automatica dei dati PSPC di ROSAT, e oggi in grado di operare anche su osservazioni *Chandra* e XMM-Newton.

8 Calcolo ad alte prestazioni

8.1 Il Sistema di Calcolo per l'Astrofisica Numerica (SCAN)

A partire dal 2000, l'OAPA si è dotato di una facility di calcolo ad alte prestazioni, denominata Sistema di Calcolo per l'Astrofisica Numerica (SCAN), tra le più avanzate tra i sistemi esistenti nel meridione. Il finanziamento iniziale origina da un progetto di formazione e ricerca dal titolo "Alta formazione nel campo del calcolo ad alte prestazioni e problematiche astrofisiche attuali" finanziato dalla Unione Europea. Nel corso degli anni la facility è stata costantemente aggiornata grazie a finanziamenti dell'Unione Europea, della Regione Sicialia, e dell'Università di Palermo.

Il primo sistema di cui si è dotata la facility SCAN è stato un cluster HPC160 composto da 4 server COMPAQ ES40 (ora dismesso), ciascuno dotato di 4 processori Alfa 21264 a 667 MHz (EV67), per un totale di 16 processori. Grazie ad un finanziamento della Regione Siciliana, dagli inizi del 2005 la facility SCAN è stata aggiornata con un cluster linux EXADRON composto da 12 nodi on-cluster IB, ciascuno dotato di 2 processori Opteron 250 AMD (2.2 GHz), per un totale di 24 processori. I nodi sono connessi tra loro da una rete Infiniband ad alta velocità. Il cluster è dotato di una memoria totale di 48 GByte. Il supercalcolatore è collegato ad un UPS della powerware serie: 9150 8.0-12.5 kVA. Nel corso del 2009, la facility ha ulteriormente potenziato la sua capacità di calcolo, dotandosi di un cluster Linux costituito da un nodo master e da sei nodi di calcolo dotati ciascuno di due processori 4-core per un totale di 48 CPU e 96 GB di memoria RAM (DDR2 667 MHz) alloggiati in tre server in configurazione Twin Server. L'architettura a 64 bit è basata sia su processori Intel (Xeon Harpertown E5420 a 2.5 GHz) che AMD (Opteron Barcelona 2354 a 2.2 GHz). I collegamenti a bassa latenza sono garantiti dalle schede Infiniband (Host Channel Adapter - HCA) montate su ciascun nodo e da uno switch InfiniBand (Mellanox Infiniscale III DDR).

Alle macchine dedicate alla produzione scientifica si affianca un piccolo cluster linux usato per test e sviluppo di codici numerici e per post-processing dei risultati delle simulazioni numeriche, acquisito nell'ambito del programma di borse di studio Marie Curie denominato PHOENIX finanziato dalla U.E. (2006-2010). Tale cluster è composto da 3 nodi on-cluster, ciascuno dotato di 4 processori AMD Opteron (2.2 GHz), per un totale di 12 processori. In questo caso, i nodi sono connessi tra loro da una rete di comunicazione a bassa velocità.

Presso la facility SCAN, viene svolta attività di alta formazione. In particolare, hanno svolto attività di gestione e ricerca, con sviluppo di competenze specializzate in materia di calcolo ad alte prestazioni e di sistemi Unix, un borsista diplomato e un laureato con assegno di ricerca, reclutati attraverso concorso. Nel corso del 2001 si è poi tenuta presso SCAN una scuola di "High Performance Computing", in collaborazione con la COMPAQ/MAKERS, e con la partecipazione di una decina di studenti. La facility viene regolarmente utilizzata da studenti dei corsi di laurea in Fisica ed in Informatica per svolgere attività di tirocinio nell'ambito del calcolo parallelo e dell'High Performance Computing (HPC).

A partire dal 2001, SCAN è divenuto *test and development site* per il codice idrodinamico parallelo FLASH, sviluppato dal gruppo FLASH presso l'università di Chicago nell'ambito del progetto *Accelerated Strategic Computing Initiative (ASCI)* promosso dal governo USA.

Attualmente SCAN è utilizzato intensivamente per quattro differenti programmi: il primo riguarda simulazioni idrodinamiche ed MHD multi-dimensionali finalizzate allo studio dei fenomeni di accrescimento e brillamenti in oggetti stellari giovani (si vedano le Sez. 2.5.2 e 2.5.3); il secondo programma riguarda simulazioni idrodinamiche bidimensionali finalizzate allo studio dei meccanismi di emissione X da parte di getti protostellari (si veda la Sez. 2.5.4); il terzo programma riguarda simulazioni tridimensionali di outburst di nova e della loro interazione con il mezzo circumstellare disomogeneo (si veda la Sez. 2.5.5); il quarto programma, infine, riguarda simulazioni idrodinamiche ed MHD bi- e tri-dimensionali finalizzate allo studio della dinamica e della emissione non-termica dei resti di supernova (si veda la Sez. 4.2). Alle simulazioni di questi progetti, si sono aggiunte delle simulazioni idrodinamiche e magnetoidrodinamiche bi- e tri-dimensionali che sono state effettuate sulle macchine del CINECA nell'ambito del programma di progetti strategici per l'astrofisica finanziati dall'INAF e sull'infrastruttura GRID del Consorzio COMETA (vedi Sez. 8.2).

Come naturale crescita di questa attività il gruppo dell'INAF-OAPA si è attivato per presentare una proposta ad un bando MIUR/PON relativo al calcolo massivo, che prevede la costituzione di un polo di calcolo a Palermo. Questa attività ha permesso alle strutture di ricerca dell'INAF a Palermo, congiuntamente all'Università degli Studi di Palermo, di partecipare al consorzio siciliano "COMETA" (vedi Sez. 8.2).

8.1.1 Il codice numerico per plasmi astrofisici FLASH

A partire dal 2001, è stata avviata un'attiva collaborazione con il Center for Astrophysical Thermonuclear Flashes (o più brevemente il FLASH center) dell'Università di Chicago per lo sviluppo e test di FLASH, un sofisticato ed avanzato codice numerico modulare e parallelo capace di affrontare problemi generali di magneto-fluidodinamica in ambiente astrofisico.

Il FLASH center è stato fondato nel 1997, finanziato dal Department of Energy del governo USA come parte del suo programma ASCI. Originariamente il codice FLASH è stato sviluppato per risolvere il problema dei flash termonucleari sulla superfice di oggetti compatti (stelle di neutroni e nane bianche), in particolare bursts X, novae classiche e supernovae di tipo Ia. La caratteristica principale del codice è il suo alto livello di modularità e versatilità che gli consente una facile estensione ad altri problemi dell'astrofisica. Infatti, FLASH è stato progettato per consentire agli utenti di configurare le condizioni al contorno ed iniziali, di cambiare gli algoritmi di punti e di aggiungere nuovi moduli che arricchiscono il codice con nuovi effetti fisici. Il codice si avvale della libreria PARAMESH che consente il riadattamento continuo della griglia di calcolo seguendo l'evoluzione del sistema fisico al fine di avere una risoluzione spaziale adeguata in ogni punto del dominio spaziale. Infine, FLASH usa la libreria Message-Passing Interface (MPI) che gli garantisce portabilità e scalabilità su una grande varietà di computer paralleli.

La collaborazione tra la facility SCAN ed il FLASH center si articola essenzialmente in tre punti:

- SCAN è stato uno dei centri internazionali in cui il codice FLASH è stato collaudato. In particolare a Palermo è stato fatto, per la prima volta, il *porting* di FLASH ad architetture Compaq. Dal 2001

al 2004, periodicamente il codice è stato lanciato per risolvere una serie predeterminata di tests per verificarne il funzionamento a seguito di suoi aggiornamenti e/o per ottimizzarlo.

- Presso lo SCAN vengono sviluppati nuovi moduli numerici per FLASH che consentono l'estensione del campo di applicazione del codice a problemi dell'astrofisica, dalla fisica della corona solare ed, in generale, delle corone stellari, alla fisica dei resti di supernovae e dei getti protostellari.
- Il gruppo di Palermo collabora costantemente all'aggiornamento ed all'applicazione intensiva di FLASH a diversi sistemi astrofisici, dalla fisica coronale ai resti di supernovae.

I principali moduli numerici già sviluppati e collaudati presso SCAN consentono di considerare in FLASH i seguenti effetti fisici: la conduzione termica di Spitzer (1962) anche in presenza di campo magnetico; la saturazione del flusso di calore quando la lunghezza di scala della temperatura è confrontabile al cammino libero medio degli elettroni (Cowie & McKee 1977); la viscosità di un plasma (Spitzer 1962); le perdite radiative da parte di plasma otticamente sottile (Raymond & Smith 1977, e successivi aggiornamenti); l'evoluzione della ionizzazione degli elementi più abbondanti in plasmi astrofisici tenendo conto di condizioni fuori equilibrio collisionale.

8.2 COMETA: COnsorzio Multi-Ente per la promozione e l'adozione di Tecnologie di calcolo Avanzate

Nell'ambito del Programma Operativo Nazionale "Ricerca, Alta Formazione e Sviluppo Tecnologico", il 27 Luglio 2005 è stato ammesso a finanziamento un progetto per l'implementazione e lo sviluppo di una e-infrastruttura in Sicilia basata sul paradigma della GRID. Al progetto (del costo complessivo di Euro 11 338 250,00), presentato dal consorzio COMETA (COnsorzio Multi Ente per la promozione e l'adozione di Tecnologie di calcolo Avanzato), prende parte attiva l'INAF, che figura tra i principali enti consorziati insieme a INFN e alle Università di Catania, Palermo e Messina, attraverso le sue Strutture di Ricerca in Sicilia (Istituto di Astrofisica Spaziale e Fisica cosmica - Palermo, Osservatorio Astrofisico di Catania e Osservatorio Astronomico di Palermo).

Il progetto finanziato (Progetto per l'Implementazione e lo Sviluppo di una e-Infrastruttura in Sicilia basata sul paradigma della grid; PI2S2) mira a realizzare ed a gestire in Sicilia alcuni centri di ricerca e sviluppo per svolgere attività di altissimo livello, da parte degli Enti consorziati, nel campo della ricerca fondamentale e delle applicazioni tecnologiche. I centri si doteranno e svilupperanno nuovi sistemi di calcolo ad alte prestazioni, nuovi sistemi per la gestione e l'elaborazione di grandi banche dati, nuove tecnologie di calcolo distribuito (con particolare riferimento all'adozione del paradigma GRID) e nuovi sistemi orientati alla simulazione multimediale. L'obiettivo tecnologico finale del Progetto PI2S2 è quello di dotare la Regione Sicilia di un "collaboratorio" per Organizzazioni Virtuali, insistente su di una infrastruttura di calcolo distribuito e di stoccaggio di dati "on-demand", che sia multi-disciplinare, "aperto", "general purpose", di altissimo livello tecnologico, e collegato con le griglie computazionali italiana ed europea/mondiale. Il consorzio svolge anche attività di alta formazione per rendere fruibile, da parte dei consorziati, nonchè di altri soggetti pubblici e privati operanti nel settore, i risultati della ricerca e le potenzialità applicative delle nuove tecnologie adottate e/o sviluppate.

Nel polo di Palermo, l'INAF e l'Università di Palermo hanno costituito un centro di calcolo comune ospitato presso locali del Dipartimento di Scienze Fisiche e Astronomiche, siti in via Archirafi, nei pressi di altri dipartimenti rilevanti (in particolare quelli di Matematica e Informatica) oltre che della sede di SCAN dell'INAF-OAPA. Il centro di calcolo si è dotato di un cluster HPC per calcolo parallelo ad alte prestazioni da 616 cores a 64 bit con 2 GB di memoria per core, e 22 TB di disco (vedi Fig. 46).

A partire dalla seconda metà del 2007, i ricercatori dell'Osservatorio Astronomico di Palermo hanno iniziato ad utilizzare l'infrastruttura di calcolo sia per il modellaggio MHD di plasmi astrofisici che per

Figura 46: Cluster HPC dell'infrastruttura GRID del consorzio COMETA ospitata presso i locali del Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche dell'Università degli studi di Palermo.

l'analisi di grosse moli di dati raccolti con i principali satelliti per l'astronomia X attualmente operanti (*Chandra* ed *XMM-Newton*). Inoltre, il nostro gruppo ha contribuito in modo determinante alla configurazione dell'infrastruttura GRID per consentire anche il calcolo ad alte prestazioni su GRID. In particolare, abbiamo realizzato il porting del codice FLASH (vedi Sez. 8.1.1) su GRID ed abbiamo contribuito a definire i requisiti cui deve soddisfare l'infrastruttura per poter essere utilizzata per il calcolo ad alte prestazioni (Orlando et al. 2008, Proc. of the workshop "Open Grid Days at the University of Palermo" held in Palermo, Italy, December 6-7 2007, p. 181; Orlando et al. 2008, oral presentation, The 3rd EGEE User Forum Clermont-Ferrand, France, 11-14 February 2008).

Le problematiche che si stanno affrontando con l'uso dell'infrastruttura GRID riguardano lo studio di sistemi astrofisici caratterizzati da plasmi molto dinamici ad alta temperatura. Tra le principali linee di ricerca vi sono: dinamica di getti proto-stellari (si veda la Sez. 2.5.4); nova outburst nel mezzo circumstellare non omogeneo e loro emissione X (si veda la Sez. 2.5.5); interazione dei Resti di Supernova con il mezzo interstellare e loro emissione non-termica (si veda la Sez. 4.2).

Parte IV
Altre attività

9 Storia dell'astronomia

L'attività di ricerca in questo settore nel corso del 2008 è stata segnata dalla pubblicazione di due importanti lavori: l'edizione critica della corrispondenza Tacchini-Cacciatore relativa alla spedizione scientifica in Sicilia per l'eclisse totale di Sole del 1870 e l'articolo sulla fondazione della Società degli Spettroscopisti Italiani, pubblicato sulla prestigiosa rivista "Annals of Science". Il primo lavoro è frutto di una particolare attenzione dedicata alla valorizzazione del patrimonio storico archivistico, dal momento che si tratta di documentazione conservata presso l'Archivio OAPa e costituita da documenti, lettere, disegni, fotografie – un prezioso materiale inedito che è stato in tal modo adeguatamente portato alla luce.

Il secondo articolo è invece il risultato di un lungo lavoro di indagine sulla documentazione originaria relativa alla fondazione e allo sviluppo di quella che può considerarsi la prima società scientifica dedicata all'astrofisica – e, in particolare, alla fisica solare – nel 1871. Questo lavoro va a riempire una grave lacuna storiografica e a correggere alcuni errori, poiché la storia di questa istituzione è rimasta a lungo ignorata dalla storiografia internazionale e gli studiosi non erano quindi in possesso di elementi importanti per valutarne la portata. L'interesse che l'articolo ha suscitato è confermato dal parere altamente favorevole dei due referees: la rivista ha anche dedicato la copertina del numero in cui è uscito l'articolo ad una delle immagini che lo corredano.

In preparazione al 2009, anno galileiano, si è voluto inoltre richiamare l'attenzione sul contributo di uno dei seguaci della scuola galileiana in Sicilia, l'astronomo e naturalista Giovan Battista Hodierna, pubblicando un articolo che raccoglie in maniera organica i contributi che l'astronomo ragusano diede al dibattito astronomico della sua epoca, segnato dalla pubblicazione del Sidereus Nuncius (1610). L'articolo ha ricevuto apprezzamenti in Italia e all'estero.

Una parte della ricerca è stata inoltre dedicata alla stesura di una breve biografia scientifica di Corradino Mineo per il Dizionario Enciclopedico della Treccani.

L'OAPa è infine direttamente coinvolto nella preparazione di ASTRUM 2009, prima mostra del patrimonio storico astronomico italiano, organizzata dall'INAF in collaborazione con la Specola Vaticana e i Musei Vaticani, che si terrà nell'autunno 2009 ai Musei Vaticani; pertanto, sono stati studiati e approfonditi alcuni aspetti relativi a tale patrimonio, presentati all'ICOMOS Meeting del 2008 ad Amburgo ed è tuttora in corso la fase di redazione di saggi e schede relativi alla mostra.

10 Biblioteca antica e archivio storico

Il patrimonio storico cartaceo dell'Osservatorio nel corso dell'anno è stato oggetto di attività sia di riordino che di conservazione e valorizzazione.

I lavori sull'archivio storico, afferenti al progetto INAF Specola 2000, sono ripresi con l'apporto della coordinatrice del progetto nazionale, Agnese Mandrino (INAF-Osservatorio di Brera), con la quale sono state effettuate modifiche sostanziali alla serie Corrispondenza ufficiale. È stato poi riordinato il fondo dell'astronomo Filippo Angelitti (1856-1931) ed è iniziata la revisione di tutto l'archivio allo scopo di pubblicarne l'inventario, in formato sia cartaceo che elettronico, nel 2009.

Lo studio dei documenti di supporto alla monografia di Ileana Chinnici sull'eclisse di sole del 1870 ha rappresentato una occasione per rivedere il materiale sull'argomento, e descriverlo dettagliatamente in un articolo a corredo della stessa pubblicazione.

Tavole e fotografie appartenenti all'archivio storico, insieme a libri della biblioteca antica saranno esposti alla mostra nazionale Astrum 2009, prima mostra del patrimonio storico astronomico italiano, che si svolgerà ai Musei Vaticani in occasione dell'Anno internazionale dell'Astronomia. A seguito del sopralluogo, effettuato dalla Soprintendenza ai beni librari della Regione Sicilia per prendere visione del materiale che andrà in prestito, è stato avviato un progetto, a cura della stessa Soprintendenza, per la realizzazione di custodie speciali per i documenti dell'archivio fotografico e le carte celesti dell'atlante di Bode (1801) che saranno esposti.

Ha anche preso l'avvio l'organizzazione di una mostra, che si svolgerà a Palermo nel 2009 per le celebrazioni dell'Anno internazionale dell'Astronomia, dal titolo "Le pagine di Urania". Essa comprenderà cinquecentine e secentine di argomento astronomico, facenti parte del fondo più antico della biblioteca. Anche in questo caso i contatti con la Soprintendenza sono stati proficui, poiché ha preso l'avvio un progetto di restauro di alcuni dei libri che andranno in mostra, e di quattro miscellanee del fondo Piazzi.

11 Divulgazione e didattica

Da Gennaio 2008 è partito il programma di visite guidate al Museo della Specola e di osservazioni del Sole. Da Marzo sono iniziate le osservazioni notturne dalla Specola, che hanno visto un'adesione ancora più massiccia che negli anni precedenti di studenti provenienti da tutta la Sicilia, in particolare dalla provincia di Trapani e da quella di Messina. In occasione della Settimana della Cultura Scientifica (3–9 Marzo) si è svolta la manifestazione "La Scuola adotta un esperimento", che ha coinvolto 6 scuole superiori e 1 scuola media. La manifestazione è stata organizzata nell'ambito del "Progetto Didattica e Divulgazione della Fisica" (PDDF), a cui partecipano l'INAF - Osservatorio Astronomico di Palermo, il Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche (DSFA), dell'Università di Palermo, il Consiglio di Coordinamento dei Corsi di Studio in Fisica (CCCS), e alcuni istituti di istruzione superiore di Palermo e provincia. Le scuole che hanno aderito, sono state chiamate ad assumere un ruolo attivo nello svolgimento dell'iniziativa: hanno selezionato gruppi di studenti che sono stati invitati presso i laboratori dell'INAF-OAPa, dell'Università e del COnsorzio Multi-Ente per Tecnologie di calcolo Avanzato (COMETA). Gli studenti sono stati poi istruiti dai ricercatori per diventare a loro volta "ciceroni" durante le visite da parte del pubblico. Per la Settimana dell'Astronomia (7–13 maggio), l'INAF-OAPa ha organizzato delle visite gratuite alla Specola con osservazioni del Sole per le scuole; inoltre, domenica 11 maggio si è tenuta un'osservazione pubblica del Sole dal sagrato della Cattedrale preceduta da conferenza introduttiva del prof. Fabio Reale. Durante la Notte dei Musei (17 maggio), è stato possibile visitare il Museo della Specola gratuitamente, dalle 19.00 alle 24.00. Dal 23 al 25 Maggio il Museo della Specola è stato aperto al pubblico durante la manifestazione Palermo Apre le Porte, promossa dal Comune. In tale circostanza le visite sono state guidate dagli studenti della scuola elementare e del liceo scientifico San Vincenzo di Palermo. In occasione della *European Researchers' Night* (26 settembre 2008) si è organizzato un evento all'Orto Botanico durante il quale ricercatori astronomi e ricercatori di molte facoltà dell'ateneo di Palermo hanno proposto al pubblico incontri e laboratori, oltre che osservazioni notturne ai telescopi. Tali attività si sono protratte per l'intero weekend (26 – 28 settembre), che è coinciso con il primo fine settimana di "Le vie dei tesori" una manifestazione promossa dall'Università degli Studi di Palermo, durante il quale sono state effettuate visite guidate gratuite al Museo della Specola e ai musei e alle collezioni dell'Università. Da ottobre 2008 l'Osservatorio Astronomico di Palermo ha promosso "A spasso per l'Universo. Un percorso di Astronomia per la scuola elementare", il programma di divulgazione e didattica portato avanti dallo IASFPa con l'obiettivo di abituare i bambini all'osservazione consapevole e sistematica dei fenomeni fisici. Dopo la presentazione di concetti astronomici e fisici di base, gli alunni sono stati invitati a costruire della strumentazione, a fare semplici esperimenti ed interpretare la loro esperienza. La verifica e la valutazione delle conoscenze e delle competenze acquisite dagli allievi sono condotte a conclusione di ciascun modulo tramite delle mostre

dei lavori svolti. In queste occasioni gli allievi, divisi in gruppi, hanno illustrato ai compagni di scuola e ai genitori i concetti appresi durante il corso. Il 16 dicembre a Palazzo Steri è stato presentato al pubblico il volume "L'eclisse del 1870 in Sicilia" di I. Chinnici. È intervenuto il Prof. A. Righini dell'Università di Firenze e sono state effettuate delle osservazioni notturne al telescopio.

12 Alta formazione e rapporti con l'Università

Presso l'Osservatorio di Palermo si svolge un'ampia e variegata attività di alta formazione che nel corso del 2008 si è sviluppata in i) tirocini (15 nel corso del 2008) di studenti di corsi di Laurea in Fisica ed in Informatica dell'Università di Palermo; ii) seminari nell'ambito di corsi universitari (2 nel 2008); iii) attività di co-relatore di Tesi di Laurea in Fisica (vecchio e nuovo ordinamento); iv) partecipazione di G. Micela come membro a pieno titolo del Collegio dei docenti del Dottorato di Ricerca in Fisica del Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche, e associata attività di supervisione di 3 tesi di Dottorato; v) partecipazione al progetto "Lauree Scientifiche" coordinato da un docente universitario del Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche dell'Università di Palermo (DSFA-UNIPA). Tale attività, come peraltro tutta l'attività scientifica dell'Osservatorio, trae grande vantaggio dalla forte sinergia con l'Università degli Studi di Palermo e, in particolare, con i docenti della Sezione di Astronomia del DSFA, con docenti del Corso di Laurea in Informatica della Facoltà di Scienze e con docenti del corso di Ingegneria Elettronica della Facoltà di Ingegneria. Nel corso del 2008, un dottorando in Ingegneria Elettronica e 4 dottorandi in Fisica hanno operato nell'ambito del sistema Osservatorio di Palermo-Sezione di Astronomia del DSFA, 3 di essi hanno concluso il triennio di attività nel Dicembre 2008 e hanno presentato per la valutazione finale le loro Tesi di Dottorato. I restanti 2 studenti di dottorato, sono stati ammessi all'anno successivo, entrambi hanno ottenuto una borsa bandita e pagata su fondi di ricerca presso l'Osservatorio. Nel corso del 2008 due dei 3 dottorandi che hanno concluso il triennio di dottorato sono stati sostenuti con una borsa di studio su fondi di ricerca dell'Osservatorio, il terzo ha usufruito di una borsa di studio presso l'Università pagata dal Dipartimento Strutture.

Nel corso del 2008 ha usufruito di un assegno di ricerca il Dott. L. Scelsi, la cui attività verteva sullo studio degli oggetti stellari giovani, è stato bandito un assegno di ricerca sul tema degli effetti dell'emissione stellare in raggi X nelle prime fasi della emissione stellare che è stato assegnato al Dott. G. Sacco, è stata assegnata all'ing. U. Lo Cicero una borsa triennale di dottorato bandita sui fondi del WP formazione del contratto ASI-INAF il cui resp. Nazionale è il Dott. E. Costa. Infine nello scorcio finale del 2008 hanno iniziato la propria attività come assegnisti di ricerca presso l'Osservatorio la Dott. L. Daricello, la cui attività verte sul tema della innovazione nel campo della diffusione della cultura scientifica e la Dott. R. Bonito, la cui attività verte su studi di fisica del plasma in vari ambienti astrofisici.

A partire dal 1 Luglio 2004 è stato attivato ISHERPA, un programma quadriennale per 3 borse di studio post-doc biennali e due brevi visite di 2 mesi di ricercatori senior approvato nell'ambito del programma FP6 Marie Curie dalla UE. Due delle borse si sono concluse nel primo trimestre del 2007. La terza ed ultima borsa è stata assegnata dal 1 Luglio 2006 per un biennio al Dott. T. Penz e si è quindi conclusa nel primi giorni di Agosto del 2008. Sono inoltre continuate le attività di PHOENIX, un programma quadriennale per 2 borse di studio biennali nell'ambito del programma FP6 Marie Curie della UE, nell'ambito del quale durante il 2008 hanno operato presso l'Osservatorio 2 post-doc, una delle quali ha iniziato il proprio biennio contrattuale nel gennaio 2008. Durante il 2008 sono inoltre continuate le attività di "Constellation", una FP6 Training and Mobility Network UE che vede la attiva presenza dell'Osservatorio di Palermo e dell'Osservatorio di Arcetri. La Dott. E. Hopewell, post-doc presso OAPA, ha continuato la sua attività che si concluderà alla fine di settembre 2009.

13 Seminari, convegni e visitatori

Nel Febbraio 2008 si è tenuto presso l'Osservatorio di Palermo il meeting congiunto del JPO e del Tiger team della collaborazione Simbol-X a cui hanno partecipato una ventina fra ricercatori italiani, francesi e membri dell'ASI e del CNES. Nell'Ottobre 2008 si è tenuto il meeting della collaborazione per il programma addizionale di COROT relativo alla regione di formazione stellare NGC 2264. A tale meeting hanno preso parte circa una decina di ricercatori.

Nel corso del 2008 hanno visitato l'Osservatorio per svolgere attività di ricerca scientifica il Dott. J. Drake e il Dott. A. Fruscione di Smithsonian Astrophysical Observatory, USA; il Dott. Ole Petruk dell'Institute for Applied Problems in Mechanics and Mathematics di Lviv, Ucraina; il Dott. G. Munoz-Caro del Centro de Astrobiologia (CSIC-INTA) di Madrid, Spagna; il Dott J. Lopez-Santiago della Università Complutense di Madrid, Spagna; il Dott. J. Sanz-Forcada del LAEF di Madrid, Spagna; il Dott. F. Albacete Colombo dell'Univ. COMAHUE, Viedma, Argentina; il Dott C. Cecchi-Pestellini dell'INAF-Osservatorio Astronomico di Cagliari; il dott F. Favata di ESA, HQ, Parigi.

Inoltre si è continuato a portare avanti un regolare ciclo di giornate dedicate a presentazioni semi-formali delle attività scientifiche che i ricercatori conducono in Osservatorio allo scopo di veicolare in modo efficiente i vari risultati, potenziare ulteriori sinergie e costituire una palestra per i ricercatori/studenti più giovani.

Parte V
Pubblicazioni

In grassetto viene indicato il personale dell'Osservatorio Astronomico di Palermo. I nomi sottolineati si riferiscono a ricercatori, borsisti o dottorandi universitari associati all'INAF.

Lavori su riviste con referee e monografie

Pubblicati

[1] L. Affer, **G. Micela**, and T. Morel. The stellar north ecliptic pole survey. II. spectral analysis. *A&A*, 483:801–813, 2008.

[2] J. F. Albacete-Colombo, **F. Damiani**, **G. Micela**, **S. Sciortino**, and R. Harnden Jr. F. An X-ray survey of low-mass stars in Trumpler 16 with Chandra. *A&A*, 490:1055, 2008.

[3] C. Argiroffi, G. Peres, **S. Orlando**, and F. Reale. The flaring and quiescent components of the solar corona. *A&A*, 488:1069, 2008.

[4] M. Arnaud, X. Barcons, D. Barret, M. Bautz, R. Bellazzini, J. Bleeker, H. BöHRInger, T. Boller, W. N. Brandt, M. Cappi, F. Carrera, A. Comastri, E. Costa, T. Courvoisier, P. de Korte, T. Dwelly, A. Fabian, K. Flanagan, R. Gilli, R. Griffiths, G. Hasinger, J. Kaastra, S. Kahn, R. Kelley, H. Kunieda, K. Makishima, G. Matt, M. Mendez, K. Mitsuda, K. Nandra, T. Ohashi, M. Page, G. Palumbo, M. Pavlinsky, **S. Sciortino**, A. Smith, L. Strüder, T. Takahashi, M. Türler, M. Turner, Y. Ueda, C. Vignali, J. Vink, R. Warwick, M. Watson, R. Willingale, and S. N. Zhang. Xeus: the physics of the hot evolving universe. *ExA*, 23:139, 2008.

[5] **F. Bocchino**, R. Bandiera, and Y. Gallant. XMM-Newton survey of non-thermal shell candidates: preliminary results on da 530. *AdSpR*, 41:407, 2008.

[6] **F. Bocchino**, A. M. Krassilchtchikov, P. Kretschmar, A. M. Bykov, Yu. A. Uvarov, and S. M. Osipov. Integral observations of the SNR IC443 region. *AdSpR*, 41:396, 2008.

[7] **F. Bocchino**, M. Miceli, and E. Troja. On the metal abundances inside mixed-morphology supernova remnants: the case of IC 443 and G166.0+4.3. *A&A*, 498:139, 2009.

[8] **R. Bonito**, C. V. M. Fridlund, F. Favata, **G. Micela**, G. Peres, A. A. Djupvik, and R. Liseau. The nearest X-ray emitting protostellar jet (HH 154) observed with hubble. *A&A*, 484:389B, 2008.

[9] A. M. Bykov, A. M. Krassilchtchikov, Yu. A. Uvarov, H. Bloemen, **F. Bocchino**, G. M. Dubner, E. B. Giacani, and G. G. Pavlov. Isolated X-ray and infrared sources in the region of interaction of the supernova remnant IC443 with a molecular cloud. *ApJ*, 676:1050, 2008.

[10] M. Caramazza, J. J. Drake, **G. Micela**, and **E. Flaccomio**. Hard X-ray flux from low-mass stars in the cygnus OB2 association. *A&A*, 503:505, 2009.

[11] M. Caramazza, **G. Micela**, **L. Prisinzano**, L. Rebull, **S. Sciortino**, and J. R. Stauffer. Circumstellar disks in the outer galazy: the star-forming region NGC 1893. *A&A*, 488:211, 2008.

[12] C. Cecchi-Pestellini, **A. Ciaravella**, **G. Micela**, and **T. Penz**. The relative role of EUV radiation and X-rays in the heating of hydrogen-rich exoplanet atmospheres. *A&A*, 496:863, 2009.

[13] G. Chianetta, C. Arnone, M. Barbera, J. Beeman, **A. Collura**, G. Lullo, E. Perinati, and E. Silver. A fully planar approach to the construction of X-ray microcalorimeters with doped germanium sensors. *JLTP*, 151:387, 2008.

[14] **I. Chinnici**. Giovan Battista Hodierna e L'Astronomia. *GdA*, 34:10, 2008.

[15] **A. Ciaravella** and J. C. Raymond. The current sheet associated with the 2003 november 4 coronal mass ejection: density, temperature, thickness, and line width. *ApJ*, 686:1372, 2008.

[16] P. Daum, J. A. Wild, **T. Penz**, E. E. Woodfield, H. Reme, A. N. Fazakerley, P. W. Daly, and M. Lester. Global MHD simulation of flux transfer events at the high-latitude magnetopause observed by the cluster spacecraft and the superdarn radar system. *JGRA*, 113:A07S22, 2008.

[17] V. D'Orazi, S. Randich, S. Flaccomio, F. Palla, G. G. Sacco, and **R. Pallavicini**. Metallicity of low-mass stars in Orion. *A&A*, 501:973, 2009.

[18] J. J. Drake, B. Ercolano, **E. Flaccomio**, and **G. Micela**. X-ray photoevaporation-starved T Tauri accretion. *ApJ Letters*, 699:L35, 2009.

[19] J. J. Drake, J. M. Laming, J.-U. Ness, **S. Orlando**, S. Starfield, A. P. Beardmore, M. F. Bode, A. Evans, S. P. S. Eyres, R. D. Gehrz, M. R. Goad, R. Gonzalex-Riestra, J. Krautter, T. J. O?Brien, J. P. Osborne, K. L. Page, G. Schwarz, and C. E. Woodward. X-ray spectroscopic diagnosis of a wind-collimated blast wave and metal-rich ejecta from the 2006 explosion of RS Ophiuchi. *ApJ*, 691:418, 2009.

[20] S. A. Dyadechkin, V. S. Semenov, H. K. Biernat, and **T. Penz**. Comparison of magnetic flux tube and cosmic string behavior in kerr metric. *AdSpR*, 42:565, 2008.

[21] B. Ercolano, J. J. Drake, F. Reale, P. Testa, and J. M. Miller. Fe Kalpha and hydrodynamic loop model diagnostics for a large flare on II.peg. *ApJ*, 688:1315, 2008.

[22] F. Favata, **G. Micela**, **S. Orlando**, J. H. M. M. Schmitt, **S. Sciortino**, and J. Hall. The X-ray cycle in the solar-type star HD 81809. XMM-Newton observations and implications for the coronal structure. *A&A*, 490:1121, 2008.

[23] L. Ferrari, F. Gatti, D. Pergolesi, M. R. Gomes, D. Bagliani, R. Valle, S. Dussoni, L. Piro, L. Colasanti, C. Macculi, M. Barbera, and E. Perinati. Study of microcalorimeters for astrophysics applications. *JLTP*, 151:271, 2008.

[24] T. Gatti, A. Natta, S. Randich, L. Testi, and G. G. Sacco. Accretion properties of T Tauri stars in Sigma Ori. *A&A*, 481:423, 2008.

[25] K. V. Getman, E. D. Feigelson, P. S. Broos, **G. Micela**, and G. P. Garmire. X-ray flares in Orion young stars. I. Flare characteristics. *ApJ*, 688:418, 2008.

[26] K. V. Getman, E. D. Feigelson, **G. Micela**, M. M. Jardine, S. G. Gregory, and G. P. Garmire. X-ray flares in Orion young stars. II. magnetospheres, and protoplanetary disks. *ApJ*, 688:437, 2008.

[27] G. Giardino, I. Pillitteri, F. Favata, and **G. Micela**. The X-ray luminosity of solar-mass stars in the intermediate age open cluster NGC 752. *A&A*, 490:113, 2008.

[28] M. G. Guarcello, **G. Micela**, **F. Damiani**, G. Peres, **L. Prisinzano**, and **S. Sciortino**. Correlation between the spatial distribution of circumstellar disks and massive stars in the young open cluster NGC 6611. II. cluster members selected with Spitzer/IRAC. *A&A*, 496:453, 2009.

[29] S. M. Hojnacki, G. Micela, S. M. Lalonde, E. D. Feigelson, and J. H. Kastner. An unsupervised, ensemble clustering algorithm: a new approach for classification of X-ray sources. *Statistical Methodology*, 5:350, 2008.

[30] M. Holmstrom, A. Ekenback, F. Selsis, **T. Penz**, H. Lammer, and P. Wurz. Energetic neutral atoms as the explanation for the high velocity hydrogen around HD 209458b. *Nature*, 451:970–972, 2008.

[31] S. Hubrig, **B. Stelzer**, M. Schoeller, C. Grady, O. Schuetz, M. Pogodin, M. Curè, K. Hamaguchi, and R. V. Yudin. Searching for a link between the magnetic nature and other observed properties of Herbig ae/be stars and stars with debris. *A&A*, 502:283, 2009.

[32] S. A. Kiehas, V. S. Semenov, I. V. Kubyshkin, M. V. Kubyshkina, **T. Penz**, H. K. Biernat, and R. Nakamura. Determination of reconnected flux via remote sensing. *Adv. Space Res.*, 41:1292–1297, 2008.

[33] D. Korovinskiy, V. S. Semenov, N. V. Erkaev, H. K. Biernat, and **T. Penz**. Theoretical model of steady-state magnetic reconnection in collisionless incompressible plasma based on the Grad-Shafranov equation solution. *AdSpR*, 41:1556, 2008.

[34] C. Liefke, J. U. Ness, J. H. M. M. Schmitt, and **A. Maggio**. Coronal properties of the EQ Peg binary system. *A&A*, 491:859, 2008.

[35] J. Lopez-Santiago, **G. Micela**, and D. Montes. Quantifying the contamination by old main-sequence stars in young moving groups: the case of the local association. *A&A*, 499:129, 2009.

[36] B. C. Matthews, C. A. McPhee, L. M. Fissel, and R. L. Curran. The legacy of SCUPOL: 850 micron imaging polarimetry from 1997 to 2005. *ApJS*, 182:143, 2009.

[37] M. Miceli, **F. Bocchino**, D. Iakubovsky, **S. Orlando**, I. Telezhinsky, M. G. F. Kirsch, O. Petruk, G. Dubner, and G. Castelletti. Thermal emission, shock modification, and X-ray emitting ejecta in SN 1006. *A&A*, 501:239, 2009.

[38] M. Miceli, **F. Bocchino**, and F. Reale. Physical and chemical inhomogeneities inside the vela SNR shell. indications of ejecta shrapnels. *ApJ*, 676:1064, 2008.

[39] M. Miceli, A. Decourchelle, J. Ballet, **F. Bocchino**, J. Hughes, U. Hwang, and R. Petre. A physical interpretation of the jet-like X-ray emission from supernova remnant W49B. *AdSpR*, 41:390, 2008.

[40] **S. Orlando**, **F. Bocchino**, F. Reale, G. Peres, and P. Pagano. The importance of magnetic-field oriented thermal conduction in the interaction of SNR shocks with interstellar clouds. *ApJ*, 678:274, 2008.

[41] **S. Orlando**, J. J. Drake, and J. M. Laming. Three-dimensional modeling of the asymmetric blast wave from the 2006 outburst of RS Ophiuchi: Early X-ray emission. *A&A*, 493:1049, 2009.

[42] **S. Orlando** and F. Favata. Observations and modeling of X-ray emission from jets of infant stars. *Lecture Notes in Physics*, 742:173, 2008.

[43] P. Pagano, J. C. Raymond, F. Reale, and **S. Orlando**. Modeling magnetohydrodynamics and non equilibrium SOHO/UVCS line emission of CME shocks. *A&A*, 481:835, 2008.

[44] **T. Penz**, N. V. Erkaev, Yu. N. Kulikov, D. Langmayr, H. Lammer, **G. Micela**, C. Cecchi-Pestellini, H. K. Biernat, F. Selsis, P. Barge, M. Deleuil, and A. Leger. Mass loss from “Hot Jupiters” - implications for corot discoveries, part II. Long time thermal atmospheric evaporation modelling, planet. *P&SS*, 56:1260, 2008.

[45] **T. Penz** and **G. Micela**. X-ray induced mass loss effects on exoplanets orbiting dM stars. *A&A*, 479:579–584, 2008.

[46] **T. Penz**, **G. Micela**, and H. Lammer. Influence of the evolving stellar X-ray luminosity distribution on exoplanetary mass loss. *A&A*, 447:309, 2008.

[47] E. Perinati, M. Barbera, **S. Varisco**, E. Silver, J. Beeman, and C. Pigot. Experimental evidence of an incomplete thermalization of the energy in an X-ray microcalorimeter with a Ta/Au absorber. *RScI*, 79:3905, 2008.

[48] O. Petruk, V. Beshley, **F. Bocchino**, and **S. Orlando**. Some properties of synchrotron radio and inverse-compton gamma-ray images of supernova remnants. *MNRAS*, 395:1467, 2009.

[49] O. Petruk, G. Dubner, G. Castelletti, **F. Bocchino**, D. Iakubovskyi, M. G. F. Kirsch, M. Miceli, **S. Orlando**, and I. Telezhinskly. Aspect angle for interstellar magnetic field in SN 1006. *MNRAS*, 393:1034, 2009.

[50] L. Piro, J. W. den Herder, T. Ohashi, L. Amati, J. L. Atteia, S. Barthelmy, M. Barbera, D. Barret, S. Basso, M. Boer, S. Borgani, O. Boyarskiy, E. Branchini, G. Branduardi-Raymont, M. Briggs, G. Brunetti, C. Budtz-Jorgensen, D. Burrows, S. Campana, E. Caroli, G. Chincarini, F. CHRIstensen, M. Cocchi, A. Comastri, A. Corsi, V. Cotroneo, P. Conconi, L. Colasanti, G. Cusumano, A. de Rosa, M. Del Santo, S. Ettori, Y. Ezoe, L. Ferrari, M. Feroci, M. Finger, G. Fishman, R. Fujimoto, M. Galeazzi, A. Galli, F. Gatti, N. Gehrels, B. Gendre, G. Ghirlanda, G. Ghisellini, P. Giommi, M. Girardi, L. Guzzo, F. Haardt, I. Hepburn, W. Hermsen, H. Hoevers, A. Holland, J. in't Zand, Y. Ishisaki, H. Kawahara, N. Kawai, J. Kaastra, M. Kippen, P. A. J. de Korte, C. Kouveliotou, A. Kusenko, C. Labanti, R. Lieu, C. Macculi, K. Makishima, G. Matt, P. Mazzotta, D. McCammon, M. Méndez, T. Mineo, S. Mitchell, K. Mitsuda, S. Molendi, L. Moscardini, R. Mushotzky, L. Natalucci, F. Nicastro, P. O'Brien, J. Osborne, F. Paerels, M. Page, S. Paltani, G. Pareschi, E. Perinati, C. Perola, T. Ponman, A. Rasmussen, M. Roncarelli, P. ROSATi, O. Ruchayskiy, E. Quadrini, I. Sakurai, R. Salvaterra, S. Sasaki, G. Sato, J. Schaye, J. Schmitt, **S. Sciortino**, M. Shaposhnikov, K. Shinozaki, D. Spiga, Y. Suto, G. Tagliaferri, T. Takahashi, Y. Takei, Y. Tawara, P. Tozzi, H. Tsunemi, T. Tsuru, P. Ubertini, E. Ursino, M. Viel, J. Vink, N. White, R. Willingale, R. Wijers, K. Yoshikawa, and N. Yamasaki. EDGE: Explorer of Diffuse emission and Gamma-ray burst Explosions. *ExA*, 23:67, 2008.

[51] **L. Prisinzano**, **G. Micela**, **E. Flaccomio**, J. R. Stauffer, T. Megeath, L. Rebull, M. Robberto, K. Smith, E. D. Feigelson, N. Grosso, and S. Wolk. X-ray properties of protostars in the Orion nebula. *ApJ*, 677:401, 2008.

[52] F. Reale and **S. Orlando**. Non-equilibrium of ionization and the detection of hot plasma in nanoflare-heated coronal loops. *ApJ*, 684:715, 2008.

[53] F. Reale, P. Testa, J. A. Klimchuk, and S. Parenti. Evidence of widespread hot plasma in a nonflaring coronal active region from Hinode/X-ray telescope. *ApJ*, 698:756, 2009.

[54] E. Rigliaco, A. Natta, S. Randich, and **G. Sacco**. Discovery of an old photoevaporating disk in Sigma Orionis. *A&A*, 495:L13, 2008.

[55] G. G. Sacco, C. Argiroffi, **S. Orlando**, **A. Maggio**, G. Peres, and F. Reale. X-ray emission from dense plasma in classical T Tauri stars: hydrodynamic modeling of the accretion shock. *A&A*, 491:L17, 2008.

[56] G. G. Sacco, **E. Franciosini**, S. Randich, and **R. Pallavicini**. Flames spectroscopy of low-mass stars in the young clusters sigma ori and Lambda ori. *A&A*, 488:167, 2008.

[57] **L. Scelsi**, **G. Sacco**, L. Affer, C. Argiroffi, I. Pillitteri, G. Maggio, and **G. Micela**. Optical spectroscopy of X-ray sources in the Taurus Molecular Cloud: discovery of ten new pre-main sequence stars. *A&A*, 490:601, 2008.

[58] J. H. M. M. Schmitt, F. Reale, C. Liefke, U. Wolter, B. Fuhrmeister, A. Reiners, and G. Peres. A coronal explosion on the flare star CN Leonis. *A&A*, 481:799, 2008.

[59] **S. Sciortino**. Results and perspectives of young stellar object long-look programs. *AN*, 329:214, 2008.

[60] P. Sestito, A. Bragaglia, S. Randich, **R. Pallavicini**, S. M. Andrievsky, and S. A. Korotin. Open clusters as key tracers of galactic chemical evolution. III. element abundances in Berkeley 20, Berkeley 29, Collinder 261 and Melotte 66. *A&A*, 488:943, 2008.

[61] **B. Stelzer**, S. Hubrig, **S. Orlando**, **G. Micela**, Z. Mikulasek, and M. Schoeller. The X-ray emission from Z Canis Majoris during an FUOr-like outburst and the detection of its X-ray jet. *A&A*, 499:529, 2009.

[62] P. Testa, J. J. Drake, B. Ercolano, F. Reale, D. P. Huenemoerder, L. Affer, **G. Micela**, and D. Garcia-Alvarez. Geometry diagnostics of a stellar flare from fluorescent X-rays. *ApJL*, 675:L97, 2008.

[63] E. Troja, **F. Bocchino**, M. Miceli, and F. Reale. XMM-Newton observations of the supernova remnant IC 443. II. evidence of stellar ejecta in the inner regions. *A&A*, 485:777, 2008.

[64] B. Vrsnak, G. Poletto, E. Vujic, A. Vourlidas, Y. K. Ko, J. C. Raymond, **A. Ciaravella**, T. Zic, D. F. Webb, A. Bemporad, F. Landini, G. Schettino, C. Jacobs, and S. T. Suess. Morphology and density structure of post-CME current sheets. *A&A*, 499:905, 2009.

In corso di stampa

[65] C. Argiroffi, **A. Maggio**, G. Peres, J. J. Drake, J. Lopez-Santiago, **S. Sciortino**, and **B. Stelzer**. X-ray optical depth diagnostics of T Tauri accretion shocks. *A&A*, in corso di stampa, 2009.

[66] C. M. Iacono-Manno, M. Fargetta, R. Barbera, A. Falzone, G. Andronico, S. Monforte, A. Muoio, R. Bruno, P. Di Primo, **S. Orlando**, E. Leggio, A. Lombardo, G. Passaro, G. De Francisci-Morales, and S. Blandino. The sicilian Grid infrastructure for high performance computing. *IJDST*, in corso di stampa, 2009.

[67] H. Lammer, P. Odert, M. Leitzinger, M. L. Khodachenko, M. Panchenko, Yu. N. Kulikov, T. L. Zhang, H. I. M. Lichtenegger, N. V. Erkaev, G. Wuchterl, **G. Micela**, **T. Penz**, H. K. Biernat, J. Weingrill, M. Steller, H. Ottacher, J. Hasiba, and A. Hanslmeier. Determining the mass loss limit for close-in exoplanets: what can we learn from transit observations? *A&A*, in corso di stampa, 2009.

[68] O. Petruk, **F. Bocchino**, M. Miceli, G. Dubner, G. Castelletti, **S. Orlando**, D. Iakubovskyi, and I. Telezhinskly. Predicted gamma-ray image of SN 1006 due to inverse compton emission. *MNRAS*, in corso di stampa, 2009.

[69] F. Reale, J. M. McTiernan, and P. Testa. Comparison of Hinode/XRT and RHESSI detection of hot plasma in the non-flaring solar corona. *ApJL*, in corso di stampa, 2009.

[70] E. Resconi, D. Franco, A. Gross, L. Costamante, and **E. Flaccomio**. On the classification of flaring states of blazars. *A&A*, in corso di stampa, 2009.

[71] J. Sanz-Forcada, L. Affer, and **G. Micela**. No fip fractionation in the active stars ar psc and ay cet. *A&A*, pages In–press, 2009.

[72] **B. Stelzer**, J. Robrade, J. H. M. M. Schmitt, and J. Bouvier. New X-ray detections of Herbig stars. *A&A*, in corso di stampa, 2009.

[73] **B. Stelzer** and A. Scholz. A Chandra and Spitzer census of the young star cluster in the reflection nebula NGC 7129. *A&A*, in corso di stampa, 2009.

Relazioni su invito

[1] **A. Ciaravella**. Studies of effects of soft X-ray emission on aminoacids. In *Presented at AOGS 2008, abstract n. PS06-ST30-A024*, 2008.

[2] **A. Maggio**. Non-thermal hard X-ray emission from stellar coronae. *MmSAI*, 79:186, 2008. Presented at the meeting "Simbol-X: the hard X-ray universe in focus", Bologna, 14-16 May 2007.

[3] **S. Orlando** and F. Favata. Observations and modeling of X-ray emission from jets of infant stars. *Lecture Notes in Physics*, 742:173, 2008. Invited Lecture to the International JETSET School, Marciana Marina, Isola d'Elba, Italy, 4-8 September 2006.

[4] **S. Sciortino**. Hard X-ray view of nearby star forming regions. *MmSAI*, 79:192, 2008. presented at the workshop "Simbol-X: the hard X-ray in focus", Bologna, 14-16 May 2007.

[5] **B. Stelzer**. Stellar coronae and star formation with XEUS. In *Presented at XEUS Open Meeting, held at ESA/ESTEC, 5-6 March 2008*, 2008.

Presentations at SPIE Conferences

[1] M. Barbera, T. Mineo, E. Perinati, H. W. Schnopper, D. Spiga, and A. Taibi. Spiral conical approximations to double reflection Wolter optics. In *Space Telescopes and Instrumentation 2008: Ultraviolet to Gamma Ray*, volume 7011 of *Proceedings of the SPIE*, 2008.

[2] **A. Collura**, M. Barbera, **S. Varisco**, G. Calderone, F. Reale, S. gburek, M. Kowalinskic, J. Sylwester, M. Siarkowski, J. Bakala, P. Podgorski, W. Trzebinski, S. Plocieniak, and Z. Kordylewski. Calibration of the Sphinx experiment at the XACT facility in palermo. In *Space Telescopes and Instrumentation 2008: Ultraviolet to Gamma Ray*, volume 7011 of *Proceedings of SPIE*, page 2U, 2008.

[3] E. Perinati, M. Barbera, J. Beeman, **A. Collura**, L. Dumoulin, C. Pigot, L. Piro, E. Silver, and **S. Varisco**. Test of X-ray microcalorimeters with bilayer absorbers. In *High Energy, Optical, and Infrared Detectors for Astronomy III*, volume 7021 of *Proceedings of the SPIE*, page 1M, 2008.

[4] E. Perinati, T. Mineo, G. Cusumano, L. Piro, G. Pareschi, and M. Barbera. Designing an X-ray baffle for stray-light reduction at the focal plane of the wide field imager on board EDGE. In *Space Telescopes and Instrumentation 2008: Ultraviolet to Gamma Ray*, volume 7011 of *Proceedings of SPIE*, page 39, 2008.

[5] J. Vernet, F. Kerber, F. Saitta, V. Mainieri, S. D'Odorico, C. Lidman, E. Mason, R. C. Bohlin, T. Rauch, V. D. Ivanov, A. Smette, J. R. Walsh, R. A. E. Fosbury, P. Goldoni, P. Groot, F. Hammer, M. Horrobin, L. Kaper, P. Kjaergaard-Rasmussen, **R. Pallavicini**, and F. Royer. Building up a database of spectro-photometric standard stars from the UV to the near-IR: a status report. In *Observatory Operations: Strategies, Processes, and Systems II*, volume 7016 of *Proceedings of SPIE*, page 1G, 2008.

Comunicazioni a congressi, altre riviste, etc.

[1] L. Affer, **G. Micela**, R. Favata, and **E. Flaccomio**. Analysis of rotation and stochastic variability of corot dwarf stars. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 341. American Institute of Physics, 2009.

[2] J. F. Albacete-Colombo, **G. Micela**, **E. Flaccomio**, and **S. Sciortino**. X-rays and winds in massive stars of cygnus OB2. In *Mass loss from stars and evolution of stellar clusters*, volume 388 of *ASP Conference Series*, page 139, 2008.

[3] C. Argiroffi, **G. Micela**, and **A. Maggio**. Simbol-X capability of detecting the non-thermal emission of stellar flares. In *MmSAI*, volume 79, page 695, 2008.

[4] C. Argiroffi, G. Peres, **S. Orlando**, and F. Reale. The Sun as a benchmark of flaring activity in stellar coronae. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 200. American Institute of Physics, 2009.

[5] M. Barbera, T. Ayers, **A. Collura**, G. Nasillo, G. Pareschi, and G. Tagliaferri. Simbol-X mirror module thermal shields: II-small angle X-ray scattering measurements. In *Simbol-X: Focusing on the hard X-ray universe: Proceedings of the 2nd International Simbol-X SYmposium*, volume 1126 of *AIP Conference Proceedings*, page 48. American Institute of Physics, 2009.

[6] M. De Becker, R. Blomme, **G. Micela**, J. M. Pittard, G. Rauw, G. E. Romero, H. Sana, and I. R. Stevens. Non-thermal processes in colliding-wind massive binaries: the contribution of simbol-x to a multiwavelength investigation. In *Simbol-X: Focusing on the hard X-ray universe: Proceedings of the 2nd International Simbol-X SYmposium*, volume 1126 of *AIP Conference Proceedings*, page 347. American Institute of Physics, 2009.

[7] **F. Bocchino**, I. Telezhinsky, D. Iakubovsky, M. Kirsch, G. Dubner, G. Casteletti, O. Petruk, and M. Miceli. The outer skock of SN1006. In *37th COSPAR Scientific Assembly, held 13-20 July 2008 in Montreal, Canada*, page 327, 2008.

[8] **R. Bonito**, **S. Orlando**, F. Favata, and G. Peres. High performance computing on the grid infrastructure of COMETA. In *Proceedings of the workshop "Open Grid Days at the University of Palermo" held in Palermo, Italy, December 6-7 2007*, page 39, 2008.

[9] **R. Bonito**, **S. Orlando**, G. Peres, F. Favata, and J. Eisloffel. The complex morphology of the X-ray and optical emission from HH 154: the pulsed jet scenario. In *Protostellar Jets in Context*, Astrophysics and Space Science Proceedings, page 353. Springer, 2009.

[10] M. Caramazza, J. J. Drake, **G. Micela**, and **E. Flaccomio**. Hard X-ray flux from low-mass stars in the cygnus OB2 association. In *Simbol-X: Focusing on the hard X-ray universe: Proceedings of the 2nd International Simbol-X SYmposium*, volume 1126 of *AIP Conference Proceedings*, page 351. American Institute of Physics, 2009.

[11] M. Caramazza, **E. Flaccomio**, **L. Prisinzano**, L. Rebull, **S. Sciortino**, J. R. Stauffer, S. Wolk, and **G. Micela**. X-ray emission in the outer galaxy: the star forming region NGC 1893. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 580. American Institute of Physics, 2009.

[12] C. Cecchi-Pestellini, **A. Ciaravella**, and **G. Micela**. Effects of euv and X-ray emission from young stars on planetary atmospheres. In *Presented at AOGS 2008, abstract n. PS07-ST31-A025*, 2008.

[13] **A. Collura**, M. Barbera, **S. Varisco**, S. Basso, G. Pareschi, G. Tagliaferri, and T. Ayers. Simbol-X mirror module thermal shields: I-design and X-ray transmission. In *Simbol-X: Focusing on the hard X-ray universe: Proceedings of the 2nd International Simbol-X SYmposium*, volume 1126 of *AIP Conference Proceedings*, page 44. American Institute of Physics, 2009.

[14] I. Crespo-Chacon, J. Lopez-Santiago, F. Reale, and **G. Micela**. Modeling the long duration rise phase of a flare detected on the M star TWA 11 B. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 584. American Institute of Physics, 2009.

[15] **F. Damiani**, **G. Micela**, **S. Sciortino**, and F. R. Harnden. The rich low-mass population of the massive cluster NGC 6231: X-ray emission, evolutionary status, and IMF. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 916. American Institute of Physics, 2009.

[16] V. D'Orazi, S. Randich, F. Palla, S. Flaccomio, **R. Pallavicini**, and G. G. Sacco. Chemical abundances of T Tauri stars in star forming regions. In *MmSAI*, volume 79, page 695, 2008.

[17] F. Fiore, M. Arnaud, U. Briel, M. Cappi, A. Comastri, A. Decourchelle, R. Della Ceca, P. Ferrando, C. Feruglio, R. Gilli, P. Giommi, A. Goldwurn, P. Grandi, P. Laurent, F. Lebrun, G. Malaguti, **G. Micela**, G. Pareschi, E. Piconcelli, S. Puccetti, J. Roques, G. Tagliaferri, and C. Vignali. Science with Simbol-X. *MsSAI*, 79:38, 2008. Proceedings of the workshop "Simbol-X: the hard X-ray universe in focus", Bologna 14-16 May 2007.

[18] **E. Flaccomio**, **B. Stelzer**, **S. Sciortino**, I. Pillitteri, and **G. Micela**. The disk/activity connection results from DROXO. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 317. American Institute of Physics, 2009.

[19] **E. Franciosini**, G. G. Sacco, and **R. Pallavicini**. X-ray properties of the young open cluster around λ Orionis. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 592. American Institute of Physics, 2009.

[20] K. V. Getman, E. D. Feigelson, **G. Micela**, P. S. Broos, M. M. Jardine, S. G. Gregory, and G. P. Garmire. Big X-ray flares from baby stars. *BAAS*, 41:296, 2009. American Astronomical Society Meeting. N. 213.

[21] S. G. Gregory, **E. Flaccomio**, C. Argiroffi, J. Bouvier, J.-F. Donati, E. D. Feigelson, KlV Getman, G. A. J. Hussain, M. Jardine, and F. M. Walter. Multi-wavelength observing of a forming solar-like star. In *proceedings of the 3rd MSSL workshop on High Resolution X-ray Spectroscopy: towards IXO*, in corso di stampa, 2009.

[22] S. G. Gregory, M. Jardine, C. Argiroffi, and J.-F. Donati. Modeling X-ray emission from stellar coronae. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 600. American Institute of Physics, 2009.

[23] S. G. Gregory, M. Jardine, C. Argiroffi, and J. F. Donati. Modeling X-ray emission from the coronae of low mass stars. *BAAS*, 41:291, 2009. American Astronomical Society Meeting. N. 213.

[24] M. Guedel, K. Arzner, M. Audard, J. Bouvier, K. Briggs, C. Dougados, E. Feigelson, **E. Franciosini**, A. Glauser, N. Grosso, S. Guieu, F. Menard, **G. Micela**, J. L. Monin, T. Montmerle, D. Padgett, F. Palla, I. Pillitteri, T. Preibisch, L. Rebull, **L. Scelsi**, B. Silva, S. Skinner, **B. Stelzer**, and A. Telleschi. Highlights from the XMM-Newton extended survey of the Taurus Molecular Cloud (XEST). *Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun, 14th Cambridge Workshop*, 384:65, 2008.

[25] S. Hubrig, C. Grady, M. Schoeller, O. Schuetz, **B. Stelzer**, M. Pogodin, M. Cure, and R. Yudin. Searching for a link between the magnetic nature and other observed properties of Herbig ae/be stars. In *Cosmic Magnetic Fields: From Planets, to Stars and Galaxies*, volume 259 of *IAU Symposia*, page 395. Astrophysikalisches Institut Potsdam, 2009.

[26] C. Isola, F. Favata, **G. Micela**, and H. Hudson. An universal flaring mechanism from the Sun to the stars? In *MmSAI*, volume 79, page 255, 2008.

[27] L. Kaper, S. D'Odorico, F. Hammer, **R. Pallavicini**, and P. Kjaergaard Rasmussen. X-SHOOTER: a medium-resolution, wide-band spectrograph for the VLT. In *Science with the VLT in the ELT Era*, Astrophysics and Space Science Proceedings. Springer, 2009.

[28] H. Lammer, N. Terada, Yu N. Kulikov, H. I. M. Lichtenegger, M. L. Khodachenko, and **T. Penz**. Atmospheric erosion caused by stellar coronal plasma flows on terrestrial exoplanets within close-in habitable zones of low mass stars. *ASP Conference Series*, 384:303, 2008. Invited talk, 14th Cambridge Workshop on Cool Stars, Stellar Systems, and the Sun.

[29] J. Lopez-Santiago, **G. Micela**, and L. Affer. The 32 ori association: a test for the star formation history in our vicinity. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 612. American Institute of Physics, 2009.

[30] **G. Micela** and M. Caramazza. Active stars: quiescent coronae or continuous flaring". In *MsSAI*, volume 79, page 266, 2008.

[31] **G. Micela**, F. Favata, G. Giardino, and **S. Sciortino**. Probing acceleration mechanism on non-thermal electrons in young stellar objects. In *MsSAI*, volume 79, page 264, 2008.

[32] M. Miceli, **S. Orlando**, F. Reale, and **F. Bocchino**. Hydrodynamic modeling of ejecta shrapnels in the vela SNR. In *37th COSPAR Scientific Assembly, held 13-20 July 2008 in Montreal, Canada*, page 2025, 2008.

[33] M. Miceli, **S. Orlando**, F. Reale, **F. Bocchino**, and E. Troja. High performance computing on the grid infrastructure of COMETA. In *Proceedings of the workshop "Open Grid Days at the University of Palermo" held in Palermo, Italy, December 6-7 2007*, page 59, 2008.

[34] D. Barrado Y Navascues, M. Morales-Calderon, A. Bayo, N. Huelamo, **B. Stelzer**, and J. R. Stauffer. A multiwavelength approach to the star formation in the Orion's head complex. In *The Eighth Pacific Rim Conference on Stellar Astrophysics: A Tribute to Kam-Ching Leung*, volume 404 of *ASP Conference Series*, page 9. Astronomical Society of the Pacific, 2009.

[35] **S. Orlando**, **F. Bocchino**, M. Miceli, F. Reale, and G. Peres. MHD modeling of supernova remnants expanding through inhomogeneous interstellar medium. In *MmSAI Supplement*, volume 13, page 97, 2008. Proceedings of the workshop "Astrofisica Computazionale in Italia: risultati e prospettive" held in Rome, Italy, March 12,2008.

[36] **S. Orlando**, **F. Bocchino**, M. Miceli, F. Reale, and G. Peres. Modeling SNR shock waves expanding through the magnetized inhomogeneous interstellar medium. *Nuovo Cimento C*, in corso di stampa, 2009.

[37] **S. Orlando**, J. J. Drake, and J. M. Laming. 3D modeling of the 2006 nova outburst of RS Ophiuchi: Collimated outflows and jet-like ejections. In *Protostellar Jets in Context*, Astrophysics and Space Science Proceedings, page 373. Springer, 2009.

[38] **S. Orlando**, G. Peres, F. Reale, **F. Bocchino**, G. G. Sacco, M. Miceli, **R. Bonito**, P. Pagano, C. Argiroffi, and **T. Yelenina**. High performance computing on the grid infrastructure of COMETA. In *Proceedings of the workshop "Open Grid Days at the University of Palermo" held in Palermo, Italy, December 6-7 2007*, page 181, 2008.

[39] E. Dell' Orto, M. Barbera, A. Bulgarelli, V. Fioretti, G. Malaguti, T. Mineo, G. Pareschi, V. Rigato, D. Spiga, and G. Tagliaferri. Background rejection of charged particles in the Simbol-X telescope: Preliminary study of protons scattering. In *Simbol-X: Focusing on the hard X-ray universe: Proceedings of the 2nd International Simbol-X Symposium*, volume 1126 of *AIP Conference Proceedings*, page 72. American Institute of Physics, 2009.

[40] P. Pagano, F. Reale, J. C. Raymond, **S. Orlando**, and G. Peres. High performance computing on the grid infrastructure of COMETA. In *Proceedings of the workshop "Open Grid Days at the University of Palermo" held in Palermo, Italy, December 6-7 2007*, page 67, 2008.

[41] S. Parenti, F. Reale, and K. K. Reeves. Fine thermal structure of a flare observed with Hinode/XRT. In *First results from Hinode*, volume 397 of *ASP Conference Series*, page 182. Astronomical Society of the Pacific, 2008.

[42] G. Peres, **R. Bonito**, **S. Orlando**, and F. Reale. Numerical simulations and diagnostics in astrophysics: a few magnetohydrodynamics examples. In *Proceedings of the 6th International Workshop on Data Analysis in Astronomy*, page 66. World Scientific, 2008.

[43] I. Pillitteri, F. Favata, **E. Flaccomio**, G. Giardino, N. Grosso, **G. Micela**, T. Montmerle, **S. Sciortino**, **B. Stelzer**, and L. Testi. X-ray properties of sources detected in the DROXO survey. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 616. American Institute of Physics, 2009.

[44] **L. Prisinzano** and S. Randich. NGC 3960: membership and lithium abundances. In *MsSAI*, volume 79, page 744, 2008.

[45] F. Reale, S. Parenti, K. K. Reeves, M. Weber, M. G. Bobra, M. Barbera, R. Kano, N. Narukage, M. Shimojo, T. Sakao, G. Peres, and L. Golub. Hinode/XRT diagnostics of loop thermal structured. In *First results from Hinode*, volume 397 of *ASP Conference Series*, page 50. Astronomical Society of the Pacific, 2008.

[46] G. G. Sacco, C. Argiroffi, **S. Orlando**, **A. Maggio**, G. Peres, and F. Reale. Accretion shock on CTTSs and its X-ray emission. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 329. American Institute of Physics, 2009.

[47] G. G. Sacco, C. Argiroffi, **S. Orlando**, **A. Maggio**, G. Peres, and F. Reale. Hydrodynamic modeling of accretions shocks on CTTSs. In *Protostellar Jets in Context*, Astrophysics and Space Science Proceedings, page 607. Springer, 2009.

[48] G. G. Sacco, A. Mignone, T. Matsakos, C. Argiroffi, **T. Yelenina**, **S. Orlando**, G. Peres, and F. Reale. High performance computing on the grid infrastructure of COMETA. In *Proceedings of the workshop "Open Grid Days at the University of Palermo" held in Palermo, Italy, December 6-7 2007*, page 73, 2008.

[49] **B. Stelzer**, **G. Micela**, **E. Flaccomio**, and **S. Sciortino**. X-ray observations of IC 348 in light of an updated cluster census. In *Cool Stars, Stellar Systems and the Sun – 15th Cambridge Workshop*, volume 1094 of *AIP Conference Proceedings*, page 628. American Institute of Physics, 2009.

[50] **B. Stelzer**, **G. Micela**, N. Huelamo, and M. Huensch. Search for low-mass companions to X-ray emitting A-type stars. *Multiple stars across the H-R diagram*, 2008:299, 2008. Presented at the meeting Multiple stars across the H-R diagram, July 12-15 2005, Garching, Germany.

[51] J. Sylwester, S. Kuzin, Y. D. Kotov, F. Farnik, and F. Reale. Sphinx: A fast solar photometer in X-rays. *J. Astroph. Astr.*, 29:339, 2008.

[52] G. Szymon, **A. Collura**, M. Barbera, F. Reale, J. Sylwester, M. Kowalinski, J. Bakala, Z. Kordylewski, S. Plocieniak, P. Podgorski, W. Trzebinski, and **S. Varisco**. Detailed calibration of Sphinx instrument at the palermo XACT facility of INAF-OAPA. In *37th COSPAR Scientific Assembly, held 13-20 July 2008 in Montreal, Canada*, page 3114, 2008.

[53] E. Troja, **F. Bocchino**, M. Miceli, and F. Reale. New constraints on chemical abundances of the shocked plasma in the supernova remnant IC443. In *37th COSPAR Scientific Assembly, held 13-20 July 2008 in Montreal, Canada*, page 3215, 2008.

[54] T. G. Yelenina, **S. Orlando**, F. Reale, G. Peres, A. Mignone, and T. Matsakos. Effects of flaring activity on dynamics of accretion disks in ysos. In *Protostellar Jets in Context*, Astrophysics and Space Science Proceedings, page 631. Springer, 2009.

Tesi di Dottorato di Ricerca e di Laurea

[1] M. Guarrasi. *Un codice idrodinamico FCT parallelo e a griglia adattiva e prima applicazione al riscaldamento strutturato di archi coronali.* (Laurea Magistrale in Fisica). Università degli Studi di Palermo, 16 dicembre 2008.

[2] S. Terzo. *Analisi di archi coronali di una regione attiva solare osservata con HINODE/XRT.* (Laurea Magistrale in Fisica). Università degli Studi di Palermo, 28 ottobre 2008.

[3] R. Bonito. Optical and X-Ray Emission from Protostellar Jets: Model Predictions and Comparison with Observations. (Dottorato di Ricerca in Fisica, XIX ciclo). Università degli Studi di Palermo, 31 marzo 2008.

[4] G. Tancredi. *Caratterizzazione sperimentale di microcalorimetri per raggi X con sensore di Ge NTD: processi fisici di termalizzazione* (Laurea in Fisica, vecchio ordinamento). Università degli Studi di Palermo, 4 aprile 2006.

Parte VI
Personale

14 Personale

14.1 Personale dell’Osservatorio Astronomico (aggiornato al 31 Dicembre 2008)

a) - Personale Scientifico		
1. Sciortino Salvatore	Astronomo Ordinario	Direttore
2. Pallavicini Roberto†	Astronomo Ordinario	(distaccato dal 2004 presso sede centrale INAF)
3. Collura Alfonso	Astronomo Associato	
4. Maggio Antonio	Astronomo Associato	
5. Micela Giuseppina	Astronomo Associato	
6. Bocchino Fabrizio	Ricercatore Astronomo	
7. Chinnici Ileana	Ricercatore Astronomo	
8. Ciaravella Angela	Ricercatore Astronomo	
9. Damiani Francesco	Ricercatore Astronomo	
10. Flaccomio Ettore	Ricercatore Astronomo	
11. Franciosini Elena	Ricercatore Astronomo	
12. Orlando Salvatore	Ricercatore Astronomo	
13. Stelzer Beate	Ricercatore	

b) - Personale a tempo determinato		**Progetto**	**Fondi**
1. Curran Rachel	Post-Doc	PHOENIX	UE (M.Curie)
2. Hopewell Ella	Post-Doc	Constellation	UE (M.Curie)
3. Thomas Penz	Post-Doc (fino al 06/08)	ISHERPA	UE (M.Curie)
4. Yelenina Tatiana	Post-Doc	PHOENIX	UE (M.Curie)
5. Bonito Sara	Assegno di ricerca	Plasmi astrofisici	INAF-ASI
6. Prisinzano Loredana	Assegno di ricerca	Fot./Spettr. Ottica/IR	OAPA
7. Sacco Germano	Assegno di ricerca (dal 12/08)		INAF-ASI
8. Scelsi Luigi	Assegno di ricerca	Spettroscopia X	INAF-ASI
9. Daricello Laura	Assegno di ricerca	Attività OAPA	OAPA

c) - Personale Tecnico	**Livello**	
1. Candia Renato	IV	Sistema di Elaborazione Dati
2. Speziale Salvatore	VI	Sistema di Elaborazione Dati
3. Morale Flavio	VI	Sistema di Elaborazione Dati
4. Candia Roberto	V	Facility XACT e laboratori connessi
5. Varisco Salvatore	V	Facility XACT
6. Di Cicca Gaspare	VI	Facility XACT e officina connessa
7. Liggio Giovanni	V	Ufficio Tecnico
8. Inzerillo Giuseppe	V	Servizi Generali
9. Vitale Giuseppe	VI	Servizi Generali
10. Tardanico Crocifissa	VII	Servizi Generali

† deceduto il 10/01/2009

d) - Personale di Biblioteca	**Livello**
1. Martines Francesca	V
2. Randazzo Donata	V
e) - Personale di Amministrazione	**Livello**
1. Salemi Filippo	III
2. D'Accardo Salvatore	IV
3. Incardona Anna	IV
4. Armanno Livia	V
5. Genco Russo Vincenza Calogera	VI
6. Cumbo Maria Rosa	VII (Contratto T.D.)
f) - Personale Lavori di Pubblica Utilità	
1. Ferrante Maria Maddalena	Addetto al Museo OAPA

14.2 Personale della Sezione di Astronomia del Dip. Sci. Fis. & Astron. (DSFA)

a) Personale Scientifico	
1. Peres Giovanni	Prof. Ordinario
2. Reale Fabio	Prof. Associato
3. Barbera Marco	Prof. Associato
4. Iuliano Vincenzo	Ricercatore Confermato
5. Argiroffi Costanza	Ricercatore non confermato (dal 12/08)
b) Dottorandi e Assegnisti	
1. Affer Laura	Dottoranda (Borsa OAPA)
2. Caramazza Marilena	Dottoranda (Borsa OAPA)
3. Guarcello Mario	Dottorando
4. Lo Cicero Ugo	Dottorando (Borsa OAPA)
5. Pagano Paolo	Dottorando (Borsa INAF)
6. Miceli Marco	Assegno di Ricerca (da 12/08)

14.3 Partecipazione a Progetti e Comitati Nazionali ed Internazionali

S. Sciortino

Direttore dell'Osservatorio Astronomico di Palermo, responsabile scientifico dell'OAPA per la definizione del Core Program del gruppo di Chandra-HRC, co-I di XMM-Newton/EPIC, responsabile del WP "Formazione" e membro del Gruppo di Strategia del contratto triennale ASI-INAF per l'Astrofisica delle Alte Energie, membro dello International X-ray Observatory (IXO) Science Definition Team, responsabile scientifico nazionale di un progetto nell'ambito del contratto INAF-ASI per l'analisi dei dati GO di Astrofisica delle Alte Energie, coordinatore del gruppo di lavoro per la revisione del disciplinare concorsi di INAF. È stato membro dei TAC del TNG, di XMM-Newton e di Chandra, responsabile scientifico nazionale di programmi di finanziamento da parte del MIUR, Regione Sicilia, ASI. È il membro designato dall'INAF per il Consiglio di Amministrazione del Consorzio "COMETA".

R. Pallavicini[3]
Direttore del Dipartimento Strutture di Ricerca dell'Istituto Nazionale di Astrofisica, co-PI e PI nazionale dello spettrografo XSHOOTER per il VLT, XMM Mission Scientist e membro dell'XMM Users Group dell'ESA, Membro dell'Editorial Board di Astronomische Nachrichten e delle Memorie SAIt.

M. Barbera
Professore Associato presso il Dipartimento di Scienze Fisiche ed Astronomiche dell'Università di Palermo, è responsabile con il Dott. A. Collura della realizzazione e funzionamento della XACT Facility dell'INAF–Osservatorio Astronomico di Palermo. Ha partecipato e partecipa ai programmi di sviluppo e di calibrazione della HRC di Chandra, della camera EPIC di Newton-XMM, dell'esperimento XRT di SOLAR-B, dell'esperimento LOXIA di Chang'E-1, dell'esperimento Sphinx di CORONAS-PHOTONS, e della missione Simbol-X. È responsabile di programmi di R&D su rivelatori basati su microcalorimetri e su ottiche ad incidenza radente superleggere per raggi X.

F. Bocchino
Responsabile del progetto di potenziamento delle infrastrutture di rete dell'Osservatorio finanziato dal MIUR nell'ambito dei Programmi Operativi Nazionali (PON), Responsabile scientifico del progetto "Thermal and non-thermal X-ray emission from supernova remnants shocks" finanziato dall'ASI nell'ambito del supporto dell'Astrofisica delle alte energie. È stato membro del Chandra TAC e referee di ApJ e PASJ.

I. Chinnici
È vice-segretario della SAIt (Società Astronomica Italiana), Editor-in-chief dell'IAU-IUHPS Inter-Union Commission for History of Astronomy (ICHA) Newsletter, e membro dell'Archives Working Group della Commissione 41 (History of Astronomy) dell'IAU. Inoltre, è responsabile di diversi progetti di diffusione della cultura scientifica finanziati dal MIUR per l'OAPA. Nell'A.A. 2004-05 ha ricoperto l'incarico del corso di Storia dell'Astronomia presso l'Università di Palermo. È attualmente Responsabile del Servizio Musei del Dipartimento Strutture dell'INAF.

A. Ciaravella
Fa parte del gruppo di lavoro di SHINE (Solar, Heliospheric and Interplanetary Environment), che si occupa della connessione tra eventi e fenomeni solari e la loro relazione con le strutture del vento solare nell'eliosfera interna; è stata co-I del progetto *Advanced Spectroscopic and Coronagraphic Explorer* (ASCE), selezionato dalla NASA per uno studio di fattibilità nell'ambito del programma *MIDEX*. È stata co-I di una proposta NASA/SRT (2003-2005) "Velocity Structure and Plasma Parameters of Halo CMEs" per lo studio di halo Coronal Mass Ejections attraverso spettri UV ottenuti con UVCS/SoHO. È attualmente co-I in una proposta NASA/SRT "UV Spectra of CMEs: Catalog and Analysis" della durata di tre anni (2006-2009) per l'implementazione di un catalogo di Coronal Mass Ejections osservati con lo "UltraViolet Spectrometer Coronagraph" È co-I di una proposta ISSI "Understanding the Role of Current Sheets in Solar Eruptive Events". Negli AA 2004-2005 e 2005-2006 ha ricoperto l'incarico per l'insegnamento di Fisica Applicata, presso la facolta di SS.MM.FF.NN., per il corso di laurea in "Conservazione e Restauro dei Beni Culturali". È PI di una proposta PRIN/INAF 2006 per lo studio degli effetti della radiazione X di tipo solare su molecole biologiche. È responsabile per la costruzione del laboratorio di astrobiologia presso l'Osservatorio Astronomico di Palermo.

A. Maggio
Responsabile scientifico locale di progetti finanziati nell'ambito di Programmi di Interesse Nazionale del MIUR e, nel 2007–2009 di contratti ASI-INAF per studi di Astrofisica delle Alte Energie; membro di

[3]Deceduto il 10/01/2009

TAC di XMM-Newton e Chandra e, dal 2008, membro del TAC per il Telescopio Nazionale Galileo. *Referee* per le riviste “Astronomy and Astrophysics” e “Astrophysical Journal”. Svolge attività didattica di supporto al corso di Astrofisica (ordinario Prof. F. Reale) per la Laurea Specialistica in Fisica, presso l’Università degli Studi di Palermo; partecipa dal 2005 come membro del gruppo di programmazione e come docente al *Progetto Lauree Scientifiche - Orientamento e Formazione degli Insegnanti - Fisica*, di cui è attualmente responsabile il Prof. Aurelio Agliolo Gallitto. Dal 2008 è membro del Gruppo Divulgazione e Didattica dell’astronomia dell’INAF. Dal 2009 è Operatore Locale di Progetto per 5 volontari del Servizio Civile Nazionale che operano presso il Museo della Specola c/o Osservatorio Astronomico e Università di Palermo.

G. Micela

Responsabile scientifico Nazionale del contratto ASI/INAF I/023/05/0 *“Supporto all’analisi dati nel campo dell’astrofisica delle alte energie”* (2005-2007). Responsabile scientifico del programma di borse di studio M. Curie (U.E. Development Host Fellowship FP5 2000-2004) e del programma “The Influence of stellar high energy radiation on planetary atmospheres” (Marie Curie Host Fellowship for the Transfer of Knowledge 2004-2008). Coordinatore scientifico del nodo INAF della RTN “Constellation: the Origin of stellar masses” approvato dalla European Commission. Membro dell’Astronomy Working Group di ESA (2005-2007). Membro del Joint Science Management Group per la missione per raggi X duri italo-francese Simbol-X. Membro del Time Allocation Committee del TNG (Telescopio Nazionale Galileo) (2002-2004) Membro del panel stellare di ESO (2005-2007). Membro dello Science Team di PLATO. Membro dell’“Exo-Planet Roadmap Advisory Team” di ESA. Chair del Gruppo di Lavoro “Astrofisica dallo Spazio” di ASI (2008). Referee delle principali riviste di Astrofisica. Membro del Collegio dei docenti del Corso di Dottorato in Fisica dell’Università di Palermo (XX ciclo). Chair di uno dei panel del processo di Peer Review di Chandra (AO8). Responsabile scientifico locale di progetti PRIN MIUR e PRIN INAF.

S. Orlando

Responsabile scientifico del programma di borse di studio Marie Curie finanziato dalla U.E. (2006-2010) “Young Stellar Objects,their Surroundings and Jets: Advanced Observational and MHD Studies” nell’ambito del “Marie Curie Host Fellowship for the Transfer of Knowledge”. Responsabile locale per la manutenzione e sviluppo di FLASH, un codice magnetoidrodinamico multidimensionale avanzato per plasmi astrofisici, sviluppato dal gruppo del Center for Astrophysical Thermonuclear Flashes, The University of Chicago. Membro del Comitato Tecnico Scientifico Paritetico CILEA/COMETA. Referee delle principali riviste di Astrofisica; è stato referee dell’Agenzia Spaziale Europea (ESA) per il reclutamento di personale scientifico. È stato tutore in diversi progetti di tirocinio formativo ed orientativo dei corsi di laurea in Fisica ed in Informatica dell’Universita‘ degli studi di Palermo. PI e Co-I di varie proposte (tra qui 4 key-project) per l’assegnazione di risorse di calcolo nell’ambito della convenzione INAF-CINECA per il supercalcolo.

G. Peres

Presidente del Consiglio di Coordinamento dei Corsi di Studio in Fisica dell’Università di Palermo, e dal 2008 membro del Consiglio di Amministrazione dell’INAF. Co-I di EPIC-XMM e *Associate Scientist* dello spettroscopio UVCS sul satellite solare SOHO dell’ESA. È coordinatore nazionale dei seguenti progetti scientifici: “Analisi ed interpretazione di dati X ed UV solari” su fondi dell’Agenzia Spaziale Italiana dal ’94 a tutt’oggi; progetto “Studio, sviluppo e test per lo “X-Ray Telescope” a bordo del satellite Solar-B” su fondi dell’Agenzia Spaziale Italiana. È *referee* di “Astronomy and Astrophysics”, di “Astrophysical Journal”, “Solar Physics” e di “Publications of Astron. Society of Japan”, ed infine è *referee* dell’Agenzia Spaziale Italiana.

F. Reale
Professore Associato presso il Dipartimento di Scienze Fisiche & Astronomiche dell'Università di Palermo, membro del collegio dei docenti del Dottorato di ricerca in Fisica; è *Associate Scientist* e responsabile locale per il relativo progetto finanziato dall'ASI dello spettroscopio UVCS sul satellite solare SOHO, cornerstone dell'ESA; attualmente membro del Time Allocation Commettee dell'INAF per la convenzione di supercalcolo INAF/CINECA. È *referee* di "Astronomy and Astrophysics", di "Astrophysical Journal", e di "Publications of Astron. Society of Japan".

B. Stelzer
Membro di TAC per proposte di osservazione Chandra, XMM-Netwon, ed ESO; *referee* esterno per proposte al CFHT; *referee* per le riviste "Astronomy and Astrophysics" e "Astrophysical Journal"